

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA RESPUESTA DE PUENTES CON SECCIÓN EN CAJÓN.

Autor: Luis González Velázquez

Tutor: Antonio Martínez de la Concha
José David Ríos Jiménez

Grupo de Estructuras
Dpto. Teoría de Medios Continuos y Teoría de
Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Civil

ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA RESPUESTA DE PUENTES CON SECCIÓN EN CAJÓN

Autor:
Luis González Velázquez

Tutor:
Antonio Martínez de la Concha
Profesor titular
José David Ríos Jiménez

Dpto. Teoría de Medios Continuos y Teoría de Estructuras
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo de Fin de Grado: ANÁLISIS PARAMÉTRICO DE LA RESPUESTA DE PUENTES
CON SECCIÓN EN CAJÓN

Autor: Luis González Velázquez
Tutor: Antonio Martínez de la
Concha
José David Ríos Jiménez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

Resumen

En este trabajo se ha realizado un estudio de la influencia de la inclinación de las almas en secciones tipo cajón de puentes, así como la sensibilidad a la longitud del puente. Han sido analizados ocho modelos a partir de la combinación de almas rectas e inclinadas junto con varias longitudes del puente.

Las características y propiedades de los modelos son similares para facilitar el análisis y comparación. Los parámetros que han sido estudiados son desplazamientos, distorsiones, tensiones y esfuerzos.

Finalmente, se han descrito algunas conclusiones importantes.

Abstract

In this work, a study has been made of the influence of the inclination of the souls in bridge-type sections, as well as the sensitivity to the length of the bridge. Eight models have been analyzed from the combination of straight and inclined souls along with several bridge lengths.

The characteristics and properties of the models are similar to facilitate analysis and comparison. The parameters that have been studied are displacements, distortions, stresses and stresses.

Finally, some important conclusions have been written.

Resumen

Abstract

Índice

Índice de Tablas

Índice de Figuras

1 Instrucción

2 Base metodológica

2.1. Modelos básicos

2.2. Características mecánicas

2.3. Consideraciones adicionales

3 Comportamiento de la viga cajón

3.1 Comportamiento de la viga de 40 m de longitud con almas verticales

3.1.1 Respuesta ante cargas puntuales

3.1.1.1 Desplazamientos

3.1.1.2 Distorsión

3.1.1.3 Tensiones

3.1.1.4 Esfuerzos

3.1.1.5 Influencia de la situación de la carga

3.1.2 Respuesta ante cargas distribuidas

3.1.2.1 Desplazamiento

3.1.2.2 Distorsión

3.1.2.3 Tensiones

3.1.2.4 Esfuerzos

3.2 Comportamiento de la viga de 100 m de longitud con almas verticales

3.2.1 Respuesta ante cargas puntuales

3.2.1.1 Desplazamientos

3.2.1.2 Distorsión

3.2.1.3 Tensiones

3.2.1.4 Esfuerzos

3.2.1.5 Influencia de la situación de la carga

3.2.2 Respuesta ante cargas distribuidas

3.2.2.1 Desplazamiento

3.2.2.2 Distorsión

3.2.2.3 Tensiones

3.2.2.4 Esfuerzos

3.3 Comportamiento de la viga de 40 m de longitud con almas inclinadas

3.3.1 Respuesta ante cargas puntuales

3.3.1.1 Desplazamientos

3.3.1.2 Distorsión

3.3.1.3 Tensiones

3.3.1.4 Esfuerzos

3.3.1.5 Influencia de la situación de la carga

3.3.2 Respuesta ante cargas distribuidas

3.3.2.1 Desplazamiento

3.3.2.2 Distorsión

3.3.2.3 Tensiones

3.3.2.4 Esfuerzos

3.4 *Comportamiento de la viga de 100 m de longitud con almas inclinadas*

3.4.1 Respuesta ante cargas puntuales

3.4.1.1 Desplazamientos

3.4.1.2 Distorsión

3.4.1.3 Tensiones

3.4.1.4 Esfuerzos

3.4.1.5 Influencia de la situación de la carga

3.4.2 Respuesta ante cargas distribuidas

3.4.2.1 Desplazamiento

3.4.2.2 Distorsión

3.4.2.3 Tensiones

3.4.2.4 Esfuerzos

4 Análisis de sensibilidad

4.1. *Definición del análisis*

4.2. *Desplazamientos*

4.3. *Distorsión*

4.4. *Tensiones*

4.4.1 Tensiones longitudinales

4.4.2 Tensiones tangenciales

4.5. *Esfuerzos*

4.5.1 Momentos flectores transversales (M_y)

4.5.2 Axiles transversales (N_y)

4.5.3 Cortantes (N_{xy})

4.6. *Corroboración de resultados: otras cargas*

4.6.1 Desplazamientos

4.6.2 Distorsión

4.6.3 Tensiones

4.6.4 Esfuerzos

5 Conclusiones

Referencias

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.2 - Desplazamiento de los nodos 3 y 7 en la sección central (m)

Tabla 3.3 - Distorsión de la sección central

Tabla 3.4 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.5 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.6 - Desplazamiento de los nodos 3 y 7 en la sección central (m)

Tabla 3.7 - Distorsión sección central

Tabla 3.8 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.9 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.10 - Desplazamientos en los nodos 3 y 7 en la sección central.

Tabla 3.11 - Distribución de la distorsión en la sección central

Tabla 3.12 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.13 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 3.14 - Desplazamientos de los nodos 3 y 7 en la sección central

Tabla 3.15 - Distorsión sección central

Tabla 3.16 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

Tabla 4.1 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas rectas

Tabla 4.2 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas rectas

Tabla 4.3 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas rectas

Tabla 4.4 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas rectas

Tabla 4.5 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas inclinadas

Tabla 4.6 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas inclinadas

Tabla 4.7 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas inclinadas

Tabla 4.8 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas inclinadas

Tabla 4.9 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 1 modelo rectos

Tabla 4.10 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 2 modelo rectos

Tabla 4.11 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 3 modelos rectos

Tabla 4.12 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 4 modelos rectos

Tabla 4.13 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 5 modelos rectos

Tabla 4.14 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 1 modelos rectos

Tabla 4.15 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 2 modelos rectos

Tabla 4.16 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 3 modelos rectos

Tabla 4.17 - Desplazamiento (m) para carga puntual 1 modelos inclinados
Tabla 4.18 - Desplazamiento (m) para carga puntual 2 modelos inclinados
Tabla 4.19 - Desplazamiento (m) para carga puntual 3 modelos inclinados
Tabla 4.20 - Desplazamiento (m) para carga puntual 4 modelos inclinados
Tabla 4.21 - Desplazamiento (m) para carga puntual 5 modelos inclinados
Tabla 4.22 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 1 modelos inclinados
Tabla 4.23 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 2 modelos inclinados
Tabla 4.24 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 3 modelos inclinados
Tabla 4.25 - Distorsión en la sección central para modelos con almas rectas (rad)
Tabla 4.26 - Distorsión en la sección central para modelos con almas inclinadas (rad)
Tabla 4.27 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos rectos
Tabla 4.28 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos rectos
Tabla 4.29 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos rectos
Tabla 4.30 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos inclinados
Tabla 4.31 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos inclinados
Tabla 4.32 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos inclinados
Tabla 4.33 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos rectos
Tabla 4.34 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos rectos
Tabla 4.35 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos inclinados
Tabla 4.36 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos inclinados
Tabla 4.37 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección A modelos rectos
Tabla 4.38 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección B modelos rectos
Tabla 4.39 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección C modelos rectos
Tabla 4.40 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección D modelos rectos
Tabla 4.41 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos rectos
Tabla 4.42 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección A modelos inclinados
Tabla 4.43 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección B modelos inclinados
Tabla 4.44 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección C modelos inclinados
Tabla 4.45 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección D modelos inclinados
Tabla 4.46 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos inclinados
Tabla 4.47 - Distribución de N_y (kN/m) en sección A en modelos rectos
Tabla 4.48 - Distribución de N_y (kN/m) en sección B en modelos rectos
Tabla 4.49 - Distribución de N_y (kN/m) en sección C en modelos rectos
Tabla 4.50 - Distribución de N_y (kN/m) en sección A en modelos inclinados
Tabla 4.51 - Distribución de N_y (kN/m) en sección B en modelos inclinados
Tabla 4.52 - Distribución de N_y (kN/m) en sección C en modelos inclinados
Tabla 4.53 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección D en modelos rectos
Tabla 4.54 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección E en modelos rectos
Tabla 4.55 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección D en modelos inclinados
Tabla 4.56 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección E en modelos inclinados

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelos básicos

Figura 2.2 - Geometría sección con almas rectas

Figura 2.3 - Geometría sección con almas inclinadas

Figura 2.4 - Posición cargas puntuales en sección con almas rectas

Figura 2.5 - Posición cargas puntuales en sección con almas inclinadas

Figura 2.6 - Posición cargas distribuidas en sección con almas rectas

Figura 2.7 - Posición cargas distribuidas en sección con almas inclinadas

Figura 3.1 - Geometría

Figura 3.2 - Desplazamientos del modelo (m)

Figura 3.3 - Desplazamientos (m) para $x = 20\text{m}$

Figura 3.4 - Desplazamiento para $x = 15\text{m}$

Figura 3.5 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.6 - Ángulos de distorsión

Figura 3.7 - Distribución de la distorsión

Figura 3.8 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 20\text{m}$)

Figura 3.9 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 15\text{m}$

Figura 3.10 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

Figura 3.11 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección $x = 19.5\text{m}$

Figura 3.12 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección $x = 19\text{m}$

Figura 3.13 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central ($x = 20\text{m}$)

Figura 3.14 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección de $x = 15\text{m}$

Figura 3.15 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) a lo largo de la luz

Figura 3.16 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Figura 3.17 - Situación de las cargas puntuales

Figura 3.18 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

Figura 3.19 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Figura 3.20 - Distorsión de la sección central

Figura 3.21 - Puntos significativos

Figura 3.22 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

Figura 3.23 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

Figura 3.24 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 15\text{m}$

Figura 3.25 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 15\text{m}$

Figura 3.26 - M_y Sección A

Figura 3.27 - M_y Sección B

Figura 3.28 - M_y Sección C

Figura 3.29 - M_y Sección D

Figura 3.30 - M_y Sección E

Figura 3.31 - N_y Sección A

Figura 3.32 - N_y Sección B

Figura 3.33 - N_y Sección C

Figura 3.34 - N_y Sección F

Figura 3.35 - Modelos de cargas distribuidas

Figura 3.36 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.37 - Desplazamiento (m) para $x = 20\text{m}$

Figura 3.38 - Desplazamiento (m) para $x = 15\text{m}$

Figura 3.39 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.40 - Distribución de la distorsión bajo la carga distribuida 1

Figura 3.41 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz ($x = 20\text{m}$)

Figura 3.42 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 20\text{m}$)

Figura 3.43 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 20\text{m}$)

Figura 3.44 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 19.5\text{m}$

Figura 3.45 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0\text{m}$

Figura 3.46 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 1

Figura 3.47 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15\text{m}$ para la C. Dist 1

Figura 3.48 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 2

Figura 3.49 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15\text{m}$ para la C. Dist 2

Figura 3.50 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 3

Figura 3.51 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15\text{m}$ para la C. Dist 3

Figura 3.52 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 1

Figura 3.53 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 2

Figura 3.54 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 3

Figura 3.55 - Distribución del Cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para la C. Dist 1

Figura 3.56 - Geometría

Figura 3.57 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.58 - Desplazamiento (m) para $x = 50\text{m}$

Figura 3.59 - Desplazamiento para $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.60 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.61 - Distribución de la distorsión

Figura 3.62 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.63 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.64 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

Figura 3.65 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75\text{m}$

Figura 3.66 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 47.5\text{m}$

Figura 3.67 - Momento Flector M_y (kN.m/m) en la sección central ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.68 - Momento Flector M_y (kN.m/m) en la sección de $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.69 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) a lo largo de la luz

Figura 3.70 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Figura 3.71 - Situación de las cargas puntuales

Figura 3.72 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

Figura 3.73 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Figura 3.74 - Distorsión de la sección central

Figura 3.75 - Puntos significativos

Figura 3.76 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

Figura 3.77 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

Figura 3.78 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.79 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.80 - M_y Sección A

Figura 3.81 - M_y Sección B

Figura 3.82 - M_y Sección C

Figura 3.83 - M_y Sección D

Figura 3.84 - M_y Sección E

Figura 3.85 - N_y Sección A

Figura 3.86 - N_y Sección B

Figura 3.87 - N_y Sección C

Figura 3.88 - N_y Sección F

Figura 3.89 - Modelos de carga distribuidas

Figura 3.90 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.91 - Desplazamiento (m) para $x = 50\text{m}$

Figura 3.92 - Desplazamiento (m) para $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.93 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.94 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

Figura 3.95 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.96 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.97 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.98 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 48.75\text{m}$

Figura 3.99 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0\text{m}$

Figura 3.100 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 1

Figura 3.101 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 1

Figura 3.102 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 2

Figura 3.103 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 2

Figura 3.104 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 3

Figura 3.105 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 3

Figura 3.106 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 1

Figura 3.107 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 2

Figura 3.108 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 3

Figura 3.109 - Distribución del Cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para C. Dist. 1

Figura 3.110 - Geometría

Figura 3.111 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.112 - Desplazamiento (m) para $x = 50$ m

Figura 3.113 - Desplazamiento para $x = 37.5$ m

Figura 3.114 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.115 - Distribución de la distorsión

Figura 3.116 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 50$ m)

Figura 3.117 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 37.5$ m

Figura 3.118 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

Figura 3.119 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75$ m

Figura 3.120 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 47.5$ m

Figura 3.121 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección central ($x = 50$ m)

Figura 3.122 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección de $x = 37.5$ m

Figura 3.123 - Distribución del Momento Flector M_y (kN·m/m) a lo largo de la luz

Figura 3.124 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Figura 3.125 - Situación de las cargas puntuales

Figura 3.126 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

Figura 3.127 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Figura 3.128 - Distorsión de la sección central

Figura 3.129 - Puntos significativos

Figura 3.130 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

Figura 3.131 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

Figura 3.132 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 37.5$ m

Figura 3.133 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 37.5$ m

Figura 3.134 - M_y Sección A

Figura 3.135 - M_y Sección B

Figura 3.136 - M_y Sección C

Figura 3.137 - M_y Sección D

Figura 3.138 - M_y Sección E

Figura 3.139 - N_y Sección A

Figura 3.140 - N_y Sección B

Figura 3.141 - N_y Sección C

Figura 3.142 - N_y Sección F

Figura 3.143 - Modelos de carga distribuidas

Figura 3.144 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.145 - Desplazamiento (m) para $x = 50$ m

Figura 3.146 - Desplazamiento (m) para $x = 37.5$ m

Figura 3.147 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.148 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

Figura 3.149 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz ($x = 50$ m)

Figura 3.150 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.151 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.152 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 48.75\text{ m}$

Figura 3.153 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0\text{m}$

Figura 3.154 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist.1

Figura 3.155 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 1

Figura 3.156 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 2

Figura 3.157 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 2

Figura 3.158 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 3

Figura 3.159 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 3

Figura 3.160 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 1

Figura 3.161 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 2

Figura 3.162 - Distribución del Momento flector M_y (kN·m/m) para la C. Dist. 3

Figura 3.163 - Distribución del Cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para C. Dist. 1

Figura 3.164 - Geometría

Figura 3.165 - Desplazamiento del modelo (m)

Figura 3.166 - Desplazamiento (m) para $x = 50\text{ m}$

Figura 3.167 - Desplazamiento (m) para $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.168 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Figura 3.169 - Distribución de la distorsión

Figura 3.170 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.171 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.172 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

Figura 3.173 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75\text{m}$

Figura 3.174 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 47.5\text{m}$

Figura 3.175 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección central ($x = 50\text{m}$)

Figura 3.176 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección de $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.177 - Distribución del Momento Flector M_y (kN·m/m) a lo largo de la luz

Figura 3.178 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Figura 3.179 - Situación de las cargas puntuales

Figura 3.180 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

Figura 3.181 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Figura 3.182 - Distorsión de la sección central

Figura 3.183 - Puntos significativos

Figura 3.184 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

Figura 3.185 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

Figura 3.186 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 37.5\text{m}$

Figura 3.187 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 15\text{m}$

Figura 3.188 - M_y Sección A

Figura 3.189 - My Sección B
Figura 3.190 - My Sección C
Figura 3.191 - My Sección D
Figura 3.192 - My Sección E
Figura 3.193 - Ny Sección A
Figura 3.194 - Ny Sección B
Figura 3.195 - Ny Sección C
Figura 3.196 - Ny Sección F
Figura 3.197 - Modelos de carga distribuidas
Figura 3.198 - Desplazamiento del modelo (m)
Figura 3.199 - Desplazamiento (m) para $x = 50\text{m}$
Figura 3.200 - Desplazamiento (m) para $x = 37.5\text{m}$
Figura 3.201 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7
Figura 3.202 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1
Figura 3.203 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)
Figura 3.204 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)
Figura 3.205 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 50\text{m}$)
Figura 3.206 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 48.75\text{m}$
Figura 3.207 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0\text{m}$
Figura 3.208 - Momento Flector My (kN·m/m) en la sección central para C. Dist.1
Figura 3.209 - Momento flector My (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 1
Figura 3.210 - Momento flector My (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 2
Figura 3.211 - Momento flector My (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 2
Figura 3.212 - Momento flector My (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 3
Figura 3.213 - Momento flector My (kN·m/m) en la sección $x = 37.5\text{m}$ para C. Dist. 3
Figura 3.214 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 1
Figura 3.215 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 2
Figura 3.216 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 3
Figura 3.217 - Distribución del Cortante Nxy en la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para C. Dist. 1

Figura 4.1 - Desplazamientos globales (m). Modelo 1 almas rectas
Figura 4.2 - Desplazamientos globales (m). Modelo 2 almas rectas
Figura 4.3 - Desplazamientos globales (m). Modelo 3 almas rectas
Figura 4.4 - Desplazamientos globales (m). Modelo 4 almas rectas
Figura 4.5 - Desplazamientos globales (m). Modelo 1 almas inclinadas
Figura 4.6 - Desplazamientos globales (m). Modelo 2 almas inclinadas
Figura 4.7 - Desplazamientos globales (m). Modelo 3 almas inclinadas
Figura 4.8 - Desplazamientos globales (m). Modelo 4 almas inclinadas
Figura 4.9 - Desplazamientos sección central (m) modelos almas rectas

Figura 4.10 - Desplazamientos sección central (m) modelos almas inclinadas

Figura 4.11 - Flechas modelos almas rectas (m)

Figura 4.12 - Flechas modelos almas inclinadas (m)

Figura 4.13 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas rectas

Figura 4.14 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas rectas

Figura 4.15 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas rectas

Figura 4.16 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas rectas

Figura 4.17 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas inclinadas

Figura 4.18 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas inclinadas

Figura 4.19 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas inclinadas

Figura 4.20 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas inclinadas

Figura 4.21 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 1

Figura 4.22 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 2

Figura 4.23 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 3

Figura 4.24 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 4

Figura 4.25 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 1

Figura 4.26 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 2

Figura 4.27 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 3

Figura 4.28 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 4

Figura 4.29 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.30 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.31 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.32 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.33 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.34 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.35 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.36 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.37 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) a lo largo de la luz de modelos con almas rectas

Figura 4.38 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) a lo largo de la luz de modelos con almas inclinadas

Figura 4.39 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 1

Figura 4.40 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 2

Figura 4.41 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 3

Figura 4.42 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 4

Figura 4.43 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 1

Figura 4.44 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 2

Figura 4.45 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 3

Figura 4.46 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 4

Figura 4.47 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 19.5\text{m}$. Modelo 1

Figura 4.48 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 29.25\text{m}$. Modelo 2

Figura 4.49 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 39\text{m}$. Modelo 3

Figura 4.50 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75$ m. Modelo 4

Figura 4.51 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 19.5$ m. Modelo 1

Figura 4.52 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 29.25$ m. Modelo 2

Figura 4.53 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 39$ m. Modelo 3

Figura 4.54 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75$ m. Modelo 4

Figura 4.55 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.56 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.57 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.58 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.59 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.60 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.61 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.62 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.63 - Distribución del momento flector M_y (kN.m/m) almas rectas

Figura 4.64 - Distribución del momento flector M_y (kN.m/m) almas inclinadas

Figura 4.65 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.66 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.67 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.68 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.69 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 1

Figura 4.70 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 2

Figura 4.71 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 3

Figura 4.72 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 4

Figura 4.73 - Distribución del esfuerzo axil transversal N_y (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas rectas

Figura 4.74 - Distribución del esfuerzo axil transversal N_y (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas inclinadas

Figura 4.75 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 19.5$ m. Modelo 1

Figura 4.76 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 29.25$ m. Modelo 2

Figura 4.77 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 39$ m. Modelo 3

Figura 4.78 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 48.75$ m. Modelo 4

Figura 4.79 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 19.5$ m. Modelo 1

Figura 4.80 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 29.25$ m. Modelo 2

Figura 4.81 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 39$ m. Modelo 3

Figura 4.82 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 48.75$ m. Modelo 4

Figura 4.83 - Distribución del esfuerzo cortante N_{xy} (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas rectas

Figura 4.84 - Distribución del esfuerzo cortante N_{xy} (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas inclinadas

Figura 4.85 - DY (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 3 modelos rectos

Figura 4.86 - DZ (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 3 modelos rectos

Figura 4.87 - DY (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 10 modelos rectos

Figura 4.88 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos rectos

Figura 4.89 - DY (m) en función de la longitud del puente en el nodo 3 modelos inclinados

Figura 4.90 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 3 modelos inclinados

Figura 4.91 - DY (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos inclinados

Figura 4.92 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos inclinados

Figura 4.93 - Distorsión en la sección central para las diferentes cargas en los modelos con almas rectas

Figura 4.94 - Distorsión en la sección central para las diferentes cargas en los modelos con almas inclinadas

Figura 4.95 - Secciones tensionales más importantes

Figura 4.96 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos rectos

Figura 4.97 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos rectos

Figura 4.98 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos rectos

Figura 4.99 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos inclinados

Figura 4.100 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos inclinados

Figura 4.101 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos inclinados

Figura 4.102 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos rectos

Figura 4.103 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos rectos

Figura 4.104 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos inclinados

Figura 4.105 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos inclinados

Figura 4.106 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección A modelos rectos

Figura 4.107 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección B modelos rectos

Figura 4.108 - Distribución de My (kN. m/m) en la sección C modelos rectos

Figura 4.109 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección D modelos rectos

Figura 4.110 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección E modelos rectos

Figura 4.111 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección A modelos inclinados

Figura 4.112 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección B modelos inclinados

Figura 4.113 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección C modelos inclinados

Figura 4.114 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección D modelos inclinados

Figura 4.115 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección E modelos inclinados

Figura 4.116 - Distribución de Ny (kN/m) en sección A en modelos rectos

Figura 4.117 - Distribución de Ny (kN/m) en sección B en modelos rectos

Figura 4.118 - Distribución de Ny (kN/m) en sección C en modelos rectos

Figura 4.119 - Distribución de Ny (kN/m) en sección A en modelos inclinados

Figura 4.120 - Distribución de Ny (kN/m) en sección B en modelos inclinados

Figura 4.121 - Distribución de Ny (kN/m) en sección C en modelos inclinados

Figura 4.122 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección D en modelos rectos

Figura 4.123 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección E en modelos rectos

Figura 4.124 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección D en modelos inclinados

Figura 4.125 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección E en modelos inclinados

1 INTRODUCCIÓN

*Los hombres construimos demasiados muros y
no suficientes puentes.
- Isaac Newton-*

La viga de sección en cajón unicelular está formada por una losa inferior, dos almas y una losa superior. La losa superior forma la plataforma del puente y actúa como cabeza de compresión ante la acción de momentos flectores positivos. Las almas soportan la losa superior y transmiten el cortante a los apoyos del puente. Por último, la losa inferior sirve de cabeza de compresión ante momentos negativos y permite un mejor comportamiento a torsión.

Los puentes de sección tipo cajón es la solución más usada en la construcción de puentes de luces medias y largas.

Este trabajo nace del interés de conocer la repercusión de la longitud de vanos y la inclinación de las almas en parámetros como desplazamiento, distorsión, tensión y esfuerzos teniendo en cuenta distintas disposiciones de cargas.

2 BASE METODOLÓGICA

El análisis de la respuesta de vanos en secciones tipo cajón parte del trabajo realizado por Javier Manterola en el capítulo 5 de su libro 'La sección cajón de hormigón' del libro 'Puentes: Apuntes para su diseño, cálculo y construcción. Tomo I'.

El trabajo parte de la ratificación de los resultados y conclusiones de Javier Manterola, y se amplía atendiendo a la influencia de la longitud de vanos y la inclinación de las almas en puentes tipo cajón.

Se hará uso del programa Midas Civil, en el cual se han realizado los diferentes tipos de modelos para la posterior obtención de resultados. El Trabajo Fin de Grado de Sergio Cobos será el punto de partida de este trabajo, sirviendo de base y apoyo para el estudio que se llevará a cabo.

2.1. Modelos básicos

Se ha elegido un puente de 40 metros de luz, 12 metros de anchura (losa superior) y 2 metros de canto. En los apoyos se restringe el movimiento vertical y el giro de eje longitudinal, es decir, se empotran a torsión. Asimismo, se considera indeformable la sección de los apoyos, lo que corresponde a la condición del diafragma.

En la Figura 2.1, se puede observar como a partir de este vano estándar, se va aumentando progresivamente la longitud del puente en ambos sentidos. En primer lugar, se ampliará 10 m a cada extremo resultando un puente de 60 m, modelo 2. Posteriormente, se amplía 20 m a cada lado del puente original de 40 m, dando lugar a un puente de 80 m, modelo 3. Finalmente, el puente de 40 m se amplía 30 m a cada lado, resultando un puente de 100 m, modelo 4.

El estudio de los diferentes modelos será realizado con dos tipos de secciones, una de ellas presenta las almas rectas y otra inclinada. En las Figuras 2.2 y 2.3, aparece la geometría de ambas secciones. Se ha mantenido el espesor y anchura de la losa superior, espesor de sus almas; el espesor de la losa inferior presenta una pequeña variación entre los dos modelos, de cara a mantener la inercia a flexión.

Así se pretende conseguir resultados que puedan ser comparados y obtener analogías entre ellos. En el Apartado 2.2 se pueden consultar las diferencias de área, inercia a flexión y torsión.

En los modelos realizados se han empleado elementos tipo "Shell" que incorporan el comportamiento de membrana y el de placa incluyendo la deformación por cortante. Las mallas realizadas tienen una dimensión característica de 50 cm.

El eje "x" es longitudinal al puente; el eje "y" la anchura del puente; mientras que el eje "z" es vertical.

En la Figura 2.4 y 2.5, se puede observar la situación de la carga puntual en ambas secciones. La carga distribuida aplicada en los diferentes casos y posiciones será de 4 kN/m^2 según se estipulaba en la antigua Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carreteras. La Instrucción actual establece 9 kN/m^2 en 3 metros a lo largo de la sección, sin embargo se ha optado por la carga de 4 kN/m^2 por los siguientes motivos:

- A lo largo de los 40 metros de luz y sobre los 6 metros de ancho, equivale a 960 kN/m^2 , valor cercano a la carga puntual.
- Es el valor utilizado por Javier Manterola en el estudio que usamos de referencia.

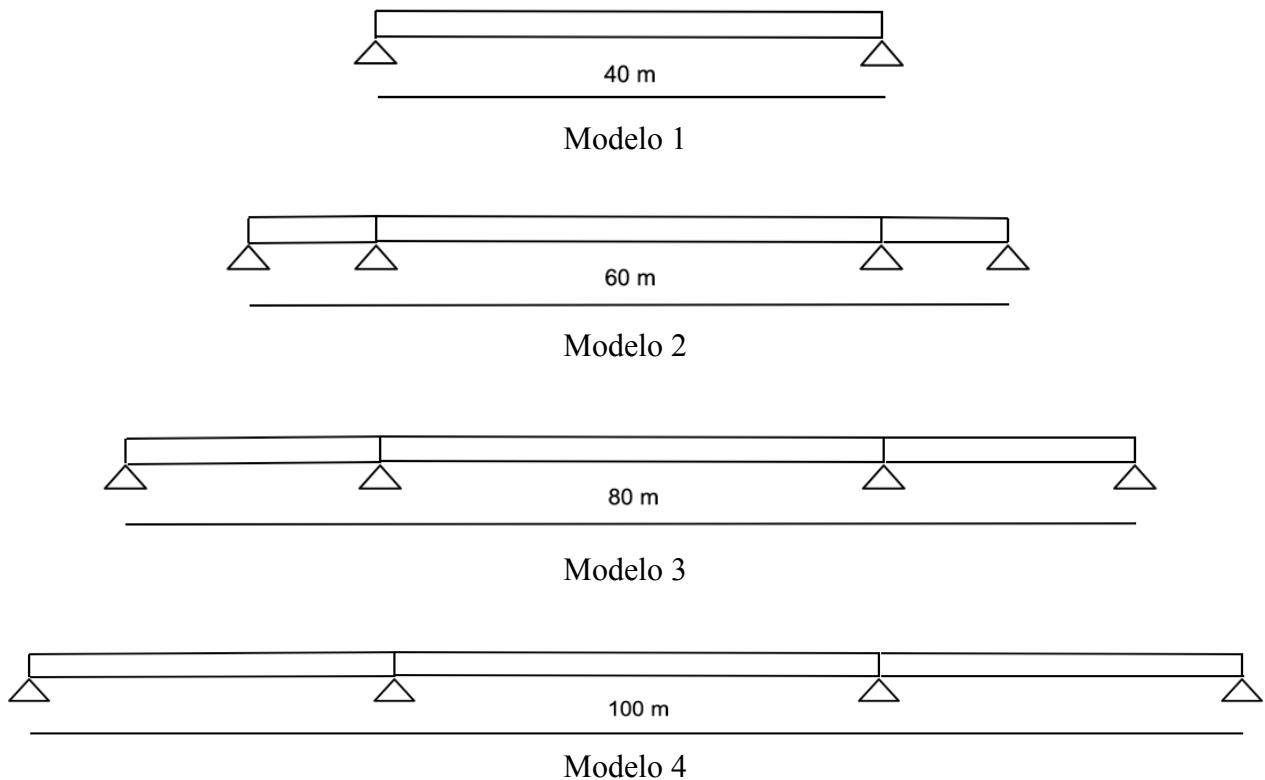


Figura 2.1 - Modelos básicos

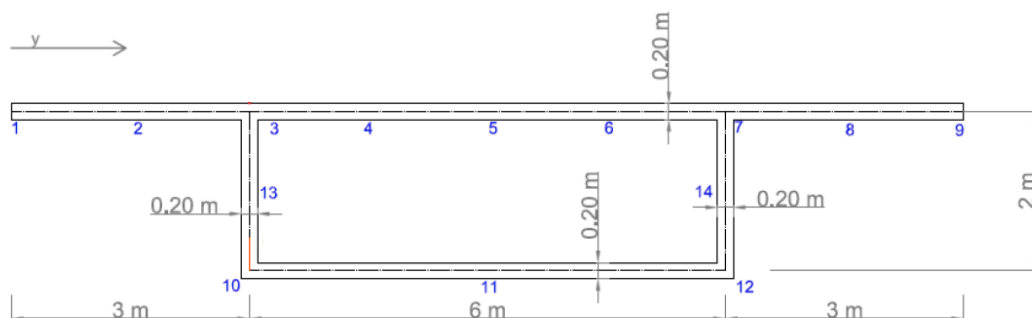


Figura 2.2 - Geometría sección con almas rectas

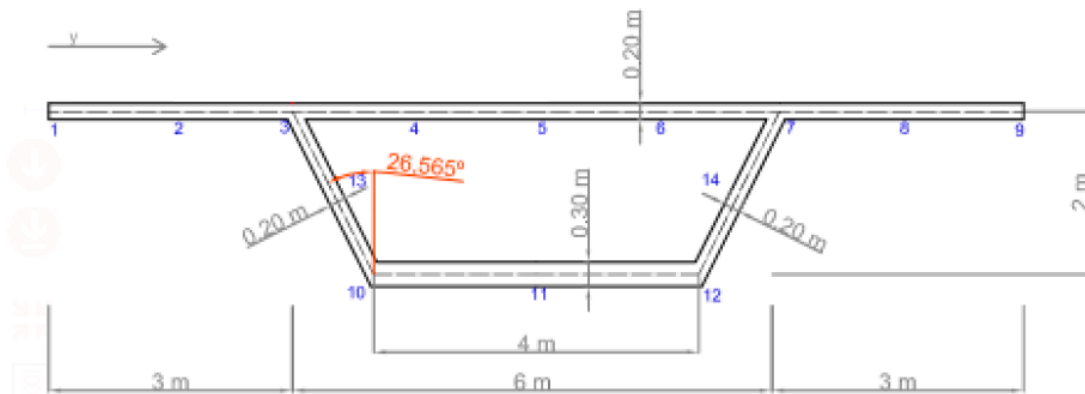


Figura 2.3 - Geometría sección con almas inclinadas

Carga 1 Carga 2 Carga 3 Carga 4 Carga 5

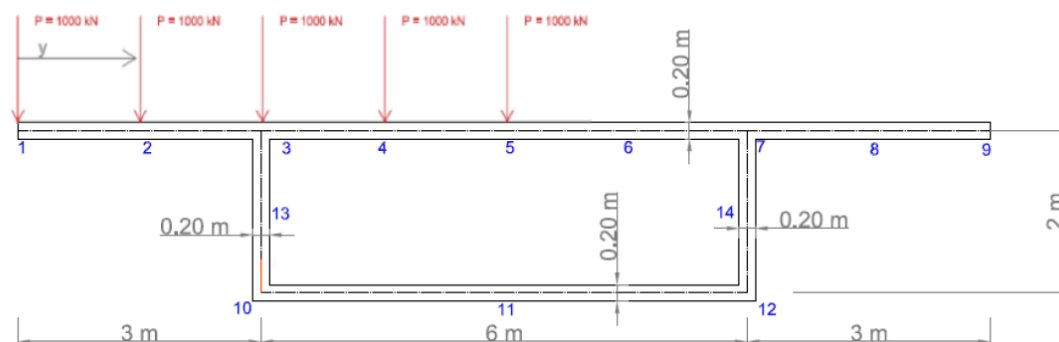


Figura 2.4 - Posición cargas puntuales en sección con almas rectas

Carga 1 Carga 2 Carga 3 Carga 4 Carga 5

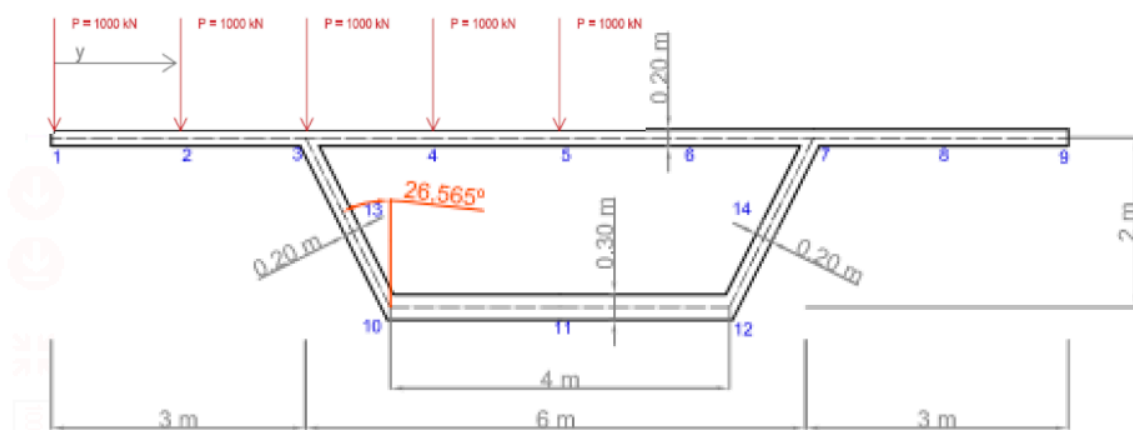
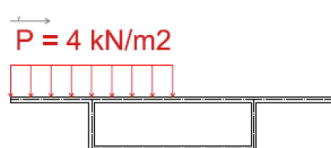
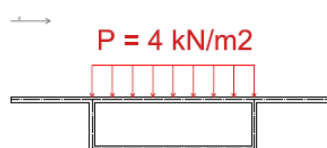


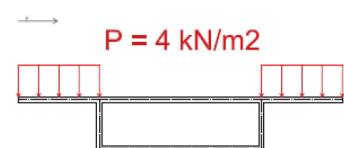
Figura 2.5 - Posición cargas puntuales en sección con almas inclinadas



Carga Distribuida 1

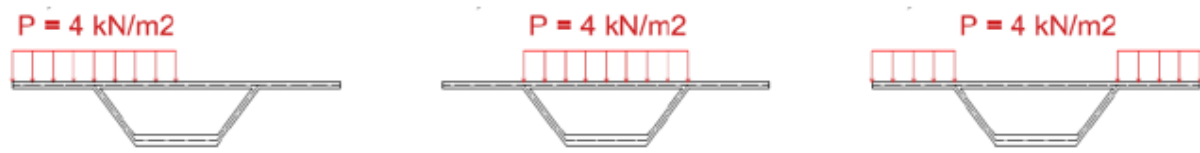


Carga Distribuida 2



Carga Distribuida 3

Figura 2.6 - Posición cargas distribuidas en sección con almas rectas



Carga Distribuida 1

Carga distribuida 2

Carga Distribuida 3

Figura 2.7 - Posición cargas distribuidas en sección con almas inclinadas

2.2. Características mecánicas

Las características más influyentes de la sección son:

Modelo con almas rectas:

- Área: 4.36 m^2
- Inercia a flexión: 3.538 m^4
- Inercia a torsión: 7.433 m^4
- Centro de gravedad: 0.8340 m desde fibra superior.

Modelo con almas inclinadas:

- Área: 4.48 m^2
- Inercia a flexión: 3.581 m^4
- Inercia a torsión: 6.391 m^4
- Centro de gravedad: 0.8505 m desde fibra superior.

2.3. Consideraciones adicionales.

Todos los modelos constan de elementos tipo placa, de dimensiones $0.50 \text{ m} \times 0.50 \text{ m}$, con un espesor constante de 0.20 m .

El material que ha sido usado en todos los casos es el hormigón C30/37, que tiene las siguientes propiedades:

- Resistencia característica de 30 Mpa ; $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$
- Módulo de Poisson de 0.2 ; $\nu = 0.2$
- Módulo de Elasticidad de $3.2836 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$; $E = 3.2836 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$

Se analizará de forma pormenorizada los modelos que presentan una longitud de 40 y 100 metros con ambas secciones (almas verticales e inclinadas). Mientras que los modelos de 60 y 80 metros se analizarán conjuntamente en aquellas magnitudes y datos que resulten de interés.

3 COMPORTAMIENTO DE LA VIGA CAJÓN

En este apartado se realizará el estudio de la viga cajón de 40 metros y de 100 metros de longitud, tanto de sección de almas rectas como inclinadas. El estudio se lleva a cabo con una carga puntual colocada en la losa superior en la zona del alma izquierda de la sección. A partir de aquí, se ampliará el estudio para diferentes situaciones de la carga puntual y también para determinadas cargas distribuidas. Serán detallados los desplazamientos, distorsión, tensiones longitudinales, y tangenciales, así como los esfuerzos más representativos.

3.1 Comportamiento de la viga de 40 m de longitud con almas verticales

El primer modelo tiene 40 metros de longitud y presenta una sección con almas rectas. La geometría es la que se presenta en la Figura 3.1.

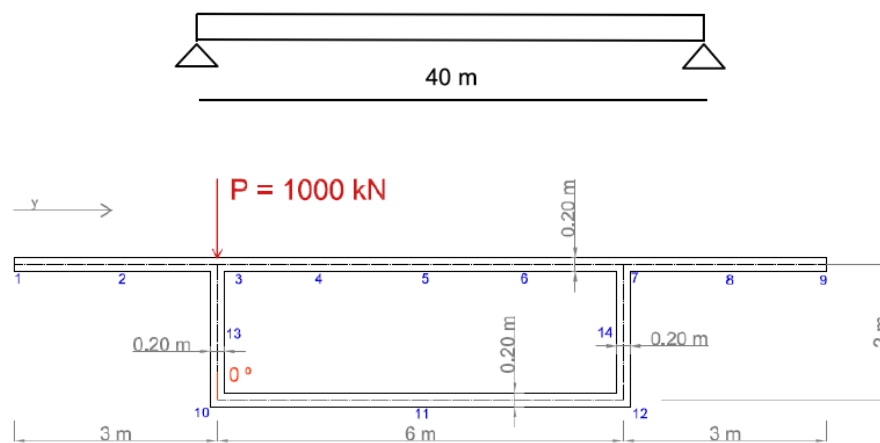


Figura 3.1 - Geometría

Se iniciará el estudio de la respuesta estructural ante una carga descentrada, en el nudo 3. Posteriormente se moverá la carga a los nudos 1, 2, 4 y 5 de la Figura 3.1. Finalmente se analizará el modelo bajo cargas uniformemente repartidas en determinadas zonas.

3.1.1 Respuesta ante cargas puntuales

Se procede al estudio de las deformaciones, distorsión, tensión y esfuerzos que provoca una carga puntual de 1000 kN sobre el alma izquierda, como se muestra en la Figura 3.1, en la sección que se encuentra en la mitad de la luz del puente ($x = 20 \text{ m}$).

3.1.1.1 Desplazamientos

Como puede observarse en la Figura 3.2 los mayores desplazamientos se producen en el entorno de la carga, dispersándose conforme nos alejamos de la situación de la carga.

En las figuras 3.3 y 3.4 se detallan los desplazamientos para la seccion $x = 20\text{ m}$, en el centro del vano, mientras que en la segunda imagen se muestran los desplazamientos en $x = 15\text{ m}$, así puede verse como se atenúa a lo largo de la distancia.

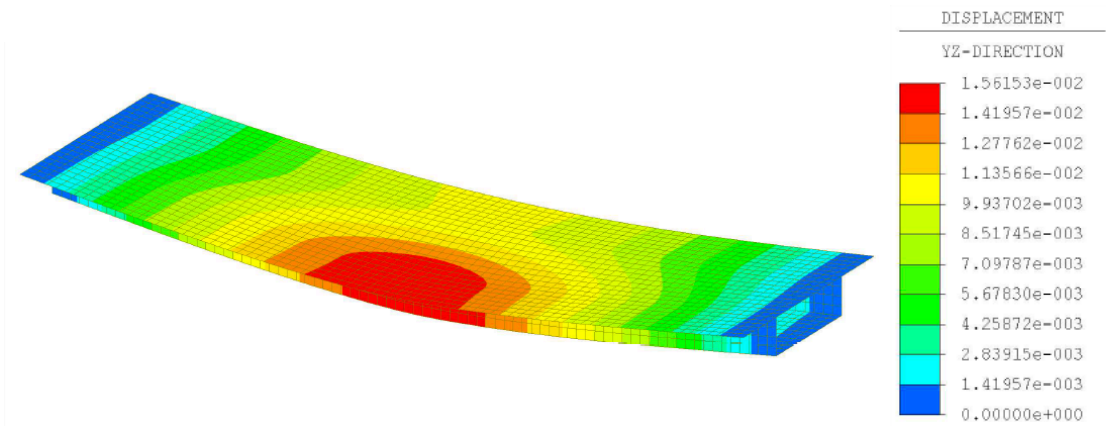


Figura 3.2 - Desplazamiento del modelo (m)

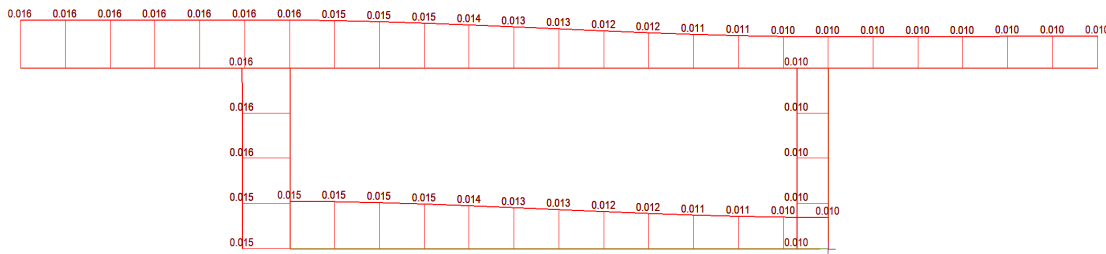


Figura 3.3 - Desplazamiento (m) para $x = 20\text{m}$



Figura 3.4 - Desplazamiento para $x = 15\text{m}$

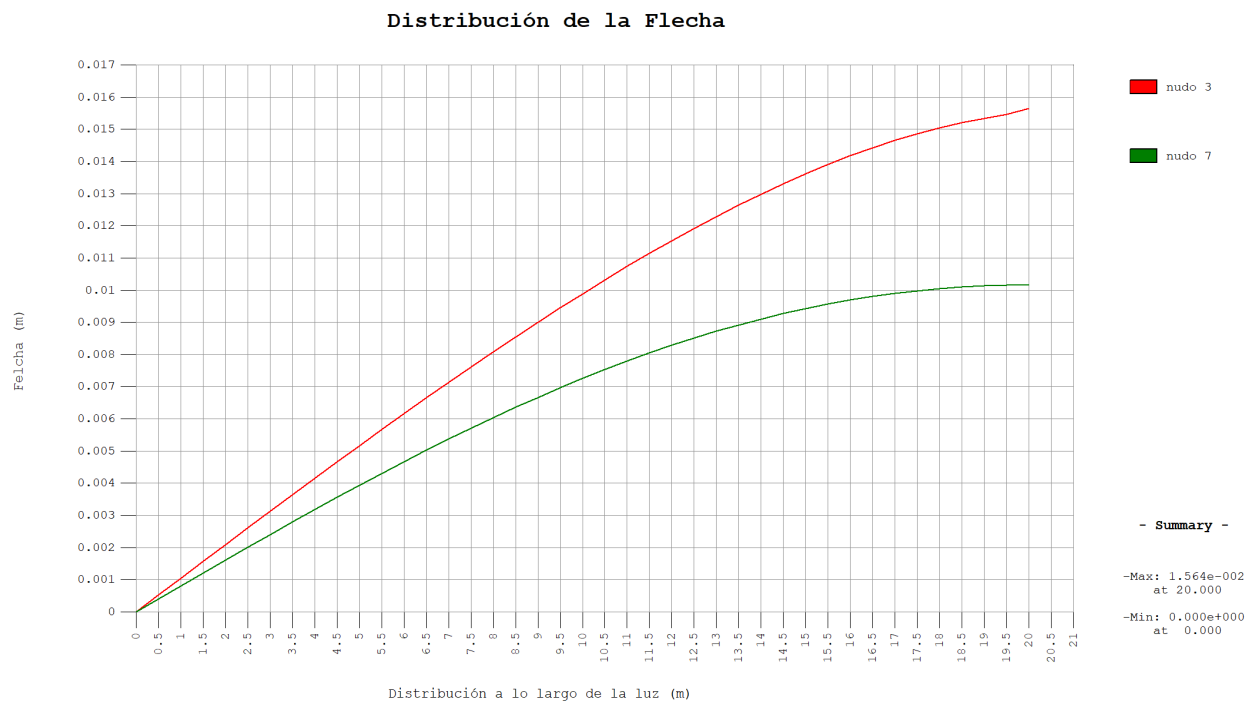


Figura 3.5 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

En la Figura 3.5, se representa el desplazamiento en dirección 'z' de los nudos 3 y 7 a lo largo de la luz del puente hasta el centro del vano ($x = 20$ m), ya que el resto es simétrico.

El nudo 3 en $x = 20$ m presenta la flecha máxima debido a que en este punto se encuentra la aplicación de la carga de 1000 kN; en el nudo 7 que se localiza en la parte simétrica de la losa superior, el valor de la flecha es menor.

3.1.1.2 Distorsión

La distorsión es la deformación de la sección ante la aplicación de cargas por efecto de la torsión. Para calcular la distorsión hemos hecho uso de la variación de los ángulos opuestos de la sección en cajón, siguiendo el estudio de Manterola.

$$Distorsión = \frac{(\alpha + \beta) + (\gamma + \delta)}{2}$$

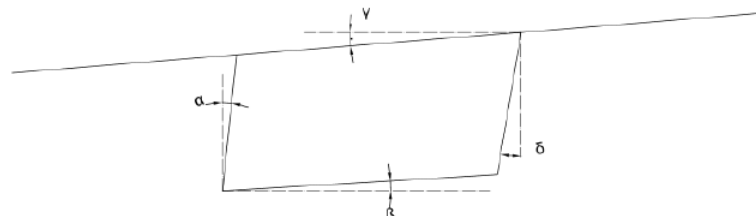


Figura 3.6 - Ángulos de distorsión

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00221	0.00004	0.01175	0.00021	0.01173	0.00021	0.00367	0.00007	0.00026
10	0.00625	0.00011	0.02515	0.00044	0.02515	0.00044	0.00923	0.00016	0.00057
15	0.01220	0.00021	0.03996	0.00070	0.03999	0.00070	0.01664	0.00029	0.00095
16	0.01338	0.00023	0.04276	0.00075	0.04281	0.00075	0.01805	0.00032	0.00102
17	0.01447	0.00025	0.04537	0.00079	0.04543	0.00079	0.01928	0.00034	0.00109
18	0.01541	0.00027	0.04769	0.00083	0.04776	0.00083	0.02025	0.00035	0.00114
19	0.01622	0.00028	0.04950	0.00086	0.04969	0.00087	0.02088	0.00037	0.00119
20	0.01650	0.00029	0.05026	0.00088	0.05228	0.00091	0.02109	0.00037	0.00122

Tabla 3.1 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

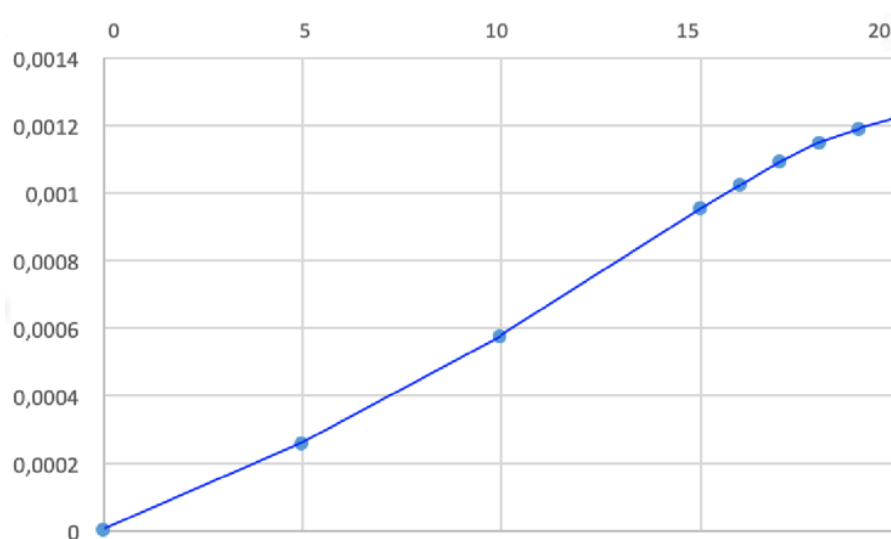


Figura 3.7 - Distribución de la distorsión

La carga puntual descentrada sobre el nodo 3 provoca una perturbación que distorsiona la sección en la zona próxima y va disminuyendo a medida que nos alejamos de la zona de aplicación de la carga.

3.1.1.3 Tensiones

3.1.1.3.1 Tensiones longitudinales

La aplicación de la carga en el nudo 3 provoca un gran pico tensional como puede observarse en la Figura 3.8, que se atenúa a lo largo de la sección y de la luz, como puede verse en el resto de figuras, aproximándose a la Teoría de Resistencia de Materiales.

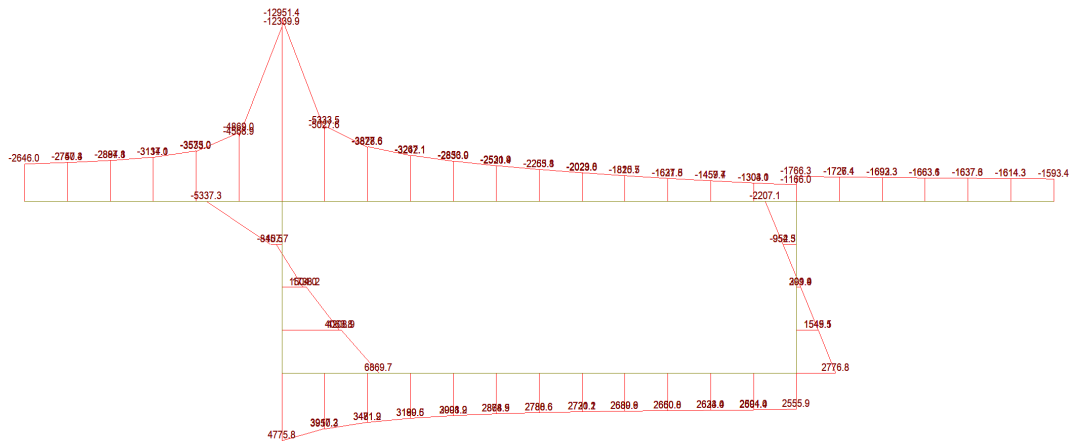


Figura 3.8 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 20$ m)



Figura 3.9 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 15$ m

Es posible observar que bajo la carga la distribución σ_{xx} no es lineal.

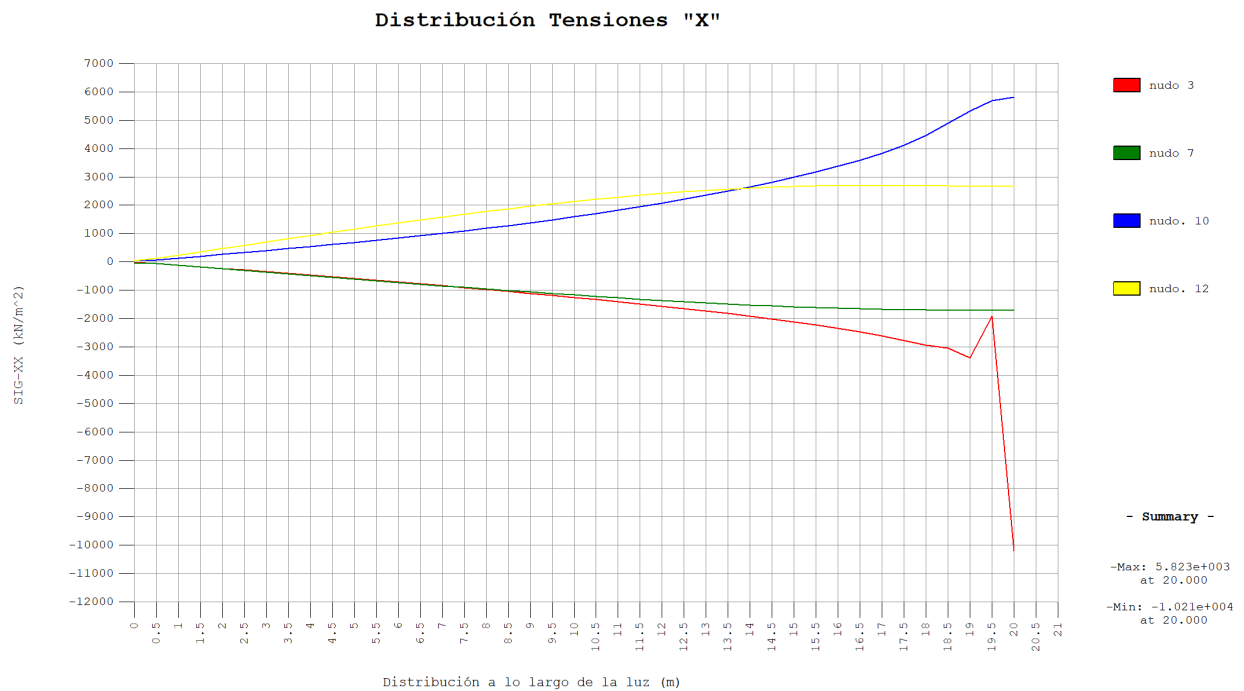


Figura 3.10 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

3.1.1.3.2 Tensiones tangenciales

La distribución de tensiones tangenciales correspondientes a las secciones $x = 19.5$ m y $x = 19$ m se muestran en las Figuras 3.11 y 3.12.

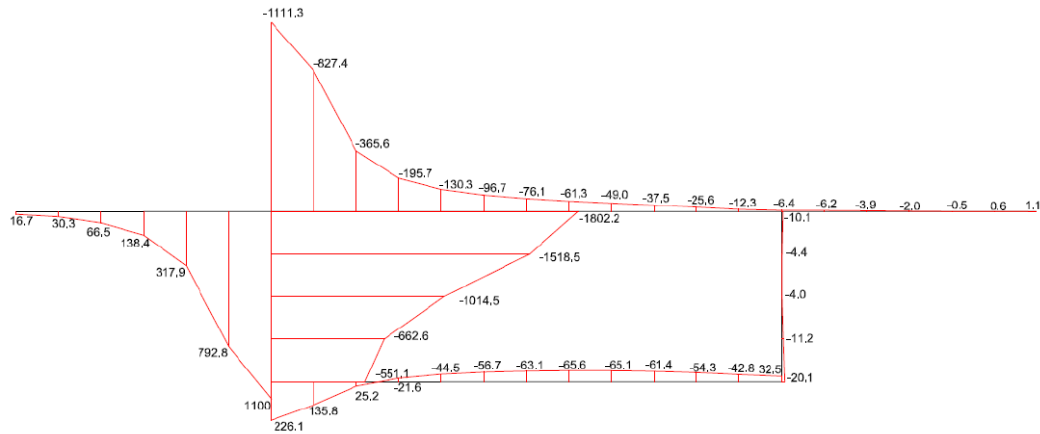


Figura 3.11 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 19.5$ m

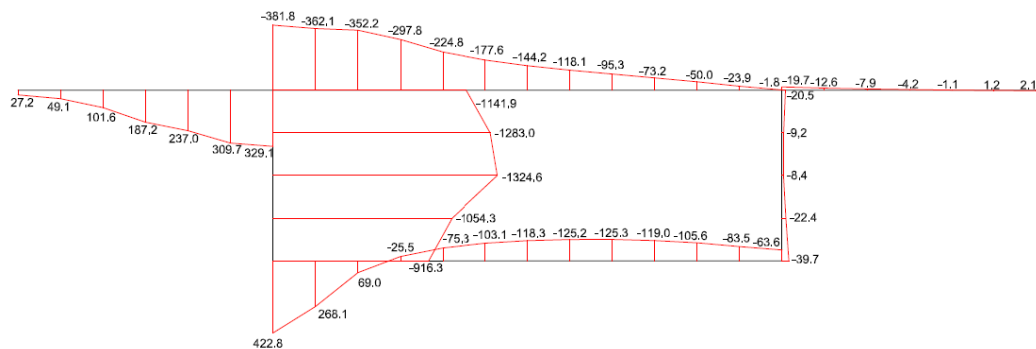


Figura 3.12 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 19$ m

Se observa que las tensiones tangenciales se hacen muy grandes bajo la carga, pero toman valores mucho más pequeños a distancias de un canto de la sección central.

3.1.1.4 Esfuerzos

3.1.1.4.1 Momentos flectores transversales

Podemos destacar el momento flector M_y y los esfuerzos cortantes N_{xy} en la losa superior ya que tiene relación directa a las tensiones previamente mencionadas.

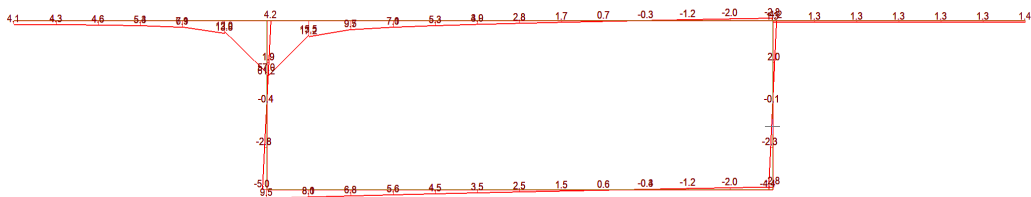


Figura 3.13 - Momento Flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central ($x = 20$ m)

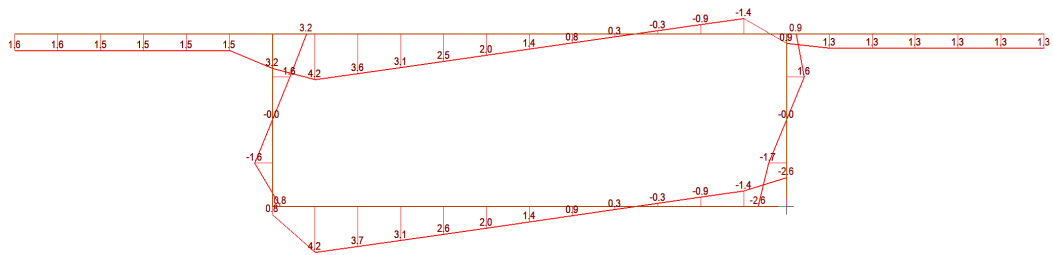


Figura 3.14 - Momento Flector M_y (kN·m/m) en la sección de $x = 15$ m

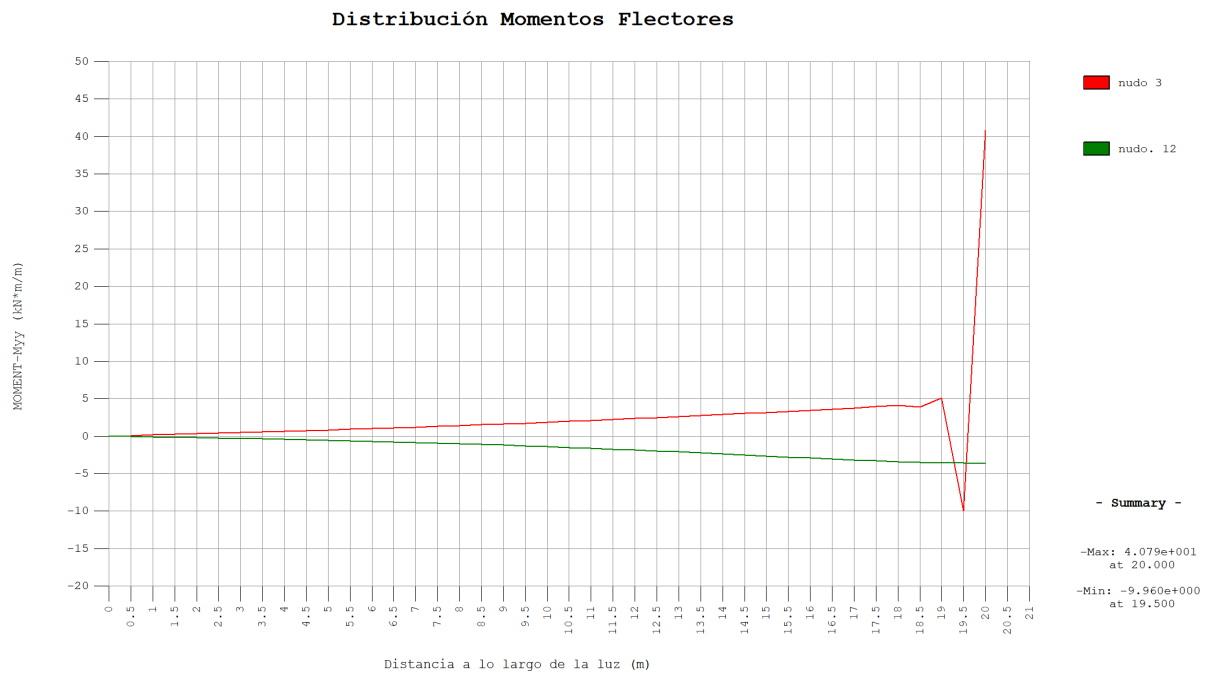


Figura 3.15 - Distribución del Momento Flector M_y (kN·m/m) a lo largo de la luz en nudo 3 y 12

3.1.1.4.2 Esfuerzos cortantes Nxy

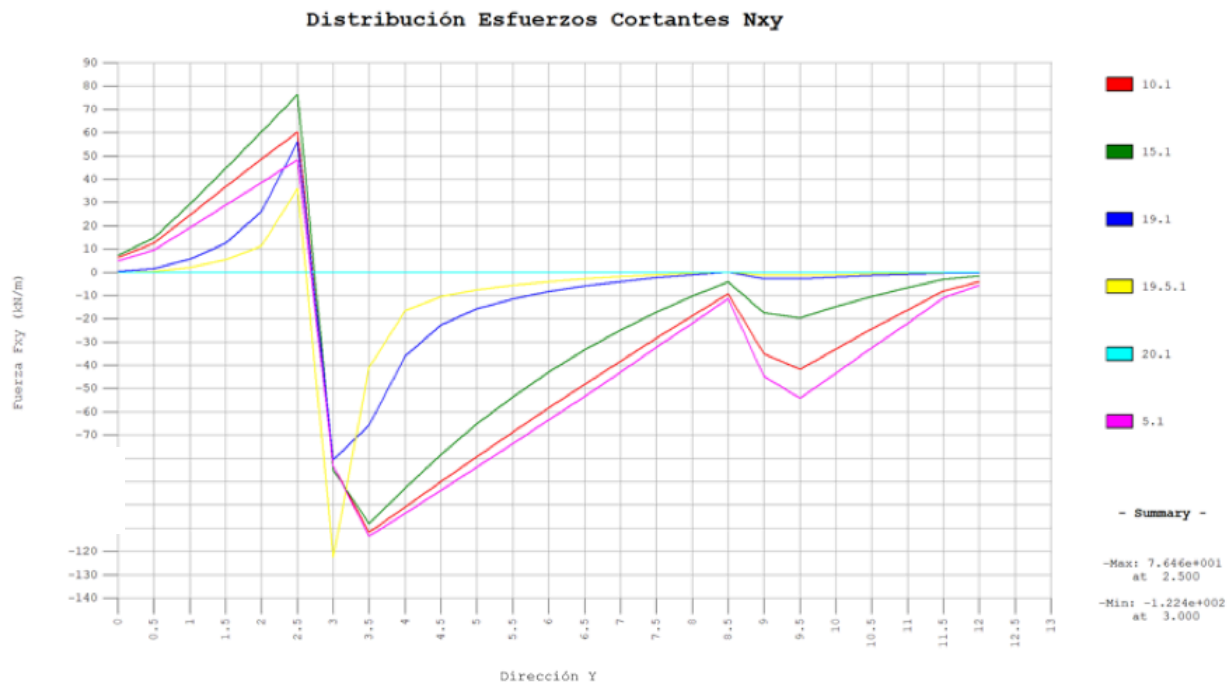


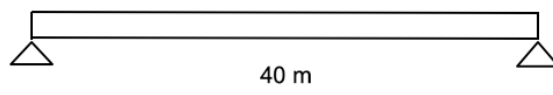
Figura 3.16 - Distribución de los esfuerzos cortantes Nxy (kN/m) en la losa superior

En abscisas de la Figura 3.16 está la dirección transversal del puente (“y”) empezando por el nudo 1 y terminando en el nudo 9. En $y = 3$, se producen picos en dichos esfuerzos (de signos contrarios), Midas hace el promedio apareciendo menores sus valores, aunque se observa perfectamente la tendencia. En $y = 9$ se produce el mismo fenómeno, pero al estar más alejada de la carga no es tan determinante.

3.1.1.5 Influencia de la situación de la carga

Examinamos la variación que se produce en los parámetros debido a la situación de la carga puntual en los diferentes puntos de la sección.

Se aplica la carga puntual de 1000 kN en los puntos 1, 2, 3 (caso estudiado anteriormente), 4, y 5 en el centro del vano ($x = 20$ m). Los puntos 6, 7, 8 y 9 suponen los mismos casos anteriores, ya que la sección es simétrica.



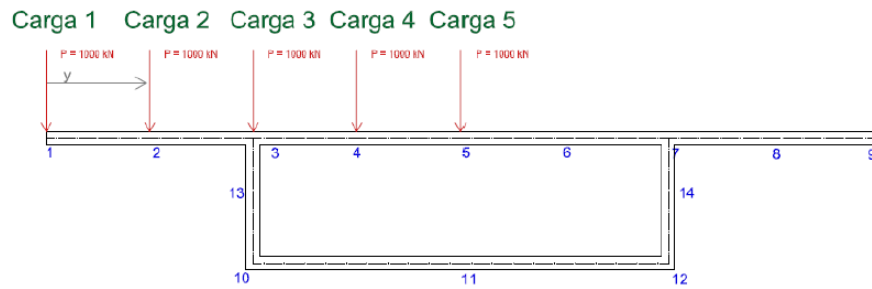


Figura 3.17 - Situación de las cargas puntuales

3.1.1.5.1 Variación en los desplazamientos

De todos los desplazamientos, nos interesa conocer el desplazamiento en 'z' (flecha) que se produce en los nodos 3 y 7 de la sección central para las diferentes situaciones de la carga puntual de 1000 kN.

En la siguiente tabla, se representan los desplazamientos que tienen dichos nodos en la sección, tomando valores positivos la dirección global de los ejes cartesianos.

NODO	CARGA	DY	DZ
3	1	0.000489	-0.015557
7		0.000345	-0.010390
3	2	0.000295	-0.015498
7		0.000178	-0.010273
3	3	0.000082	-0,015615
7		0.000005	-0.010177
3	4	-0.000025	-0.014592
7		-0.000067	-0.010943
3	5	-0.000017	-0.012734
7		-0.000017	-0.012734

Tabla 3.2 - Desplazamiento de los nodos 3 y 7 en la sección central (m)

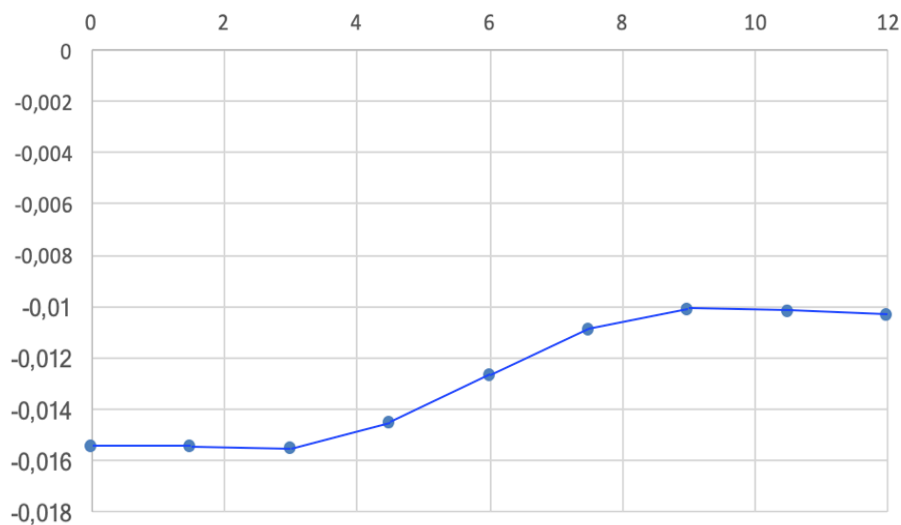


Figura 3.18 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

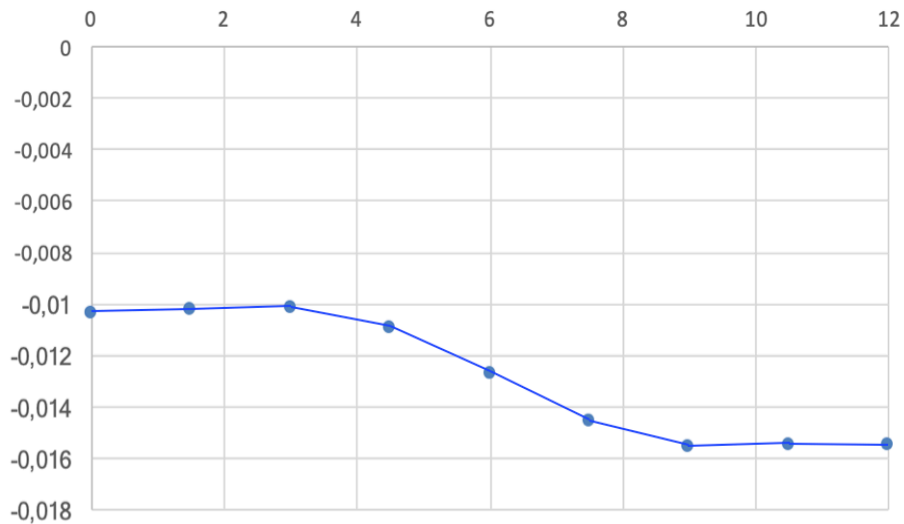


Figura 3.19 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Se presenta la flecha que tienen los nodos 3 y 7 según la posición en la dirección “y” de la carga. La distancia entre nodos es de 1.5 metros.

Al ser los nodos simétricos, cuando la carga esté aplicada en el nodo 1, los nodos 3 y 7 presentarán los desplazamientos alternados que cuando se encuentra en el nodo 9 dicha carga.

3.1.1.5.2 Variación en la distorsión

La distorsión será analizada en la sección central ($x = 20$ m), debido a que será la zona donde exista mayor distorsión por la presencia de la carga.

Carga	Distorsión (rad)
1	0.001087
2	0.000933
3	0.001223
4	0.000941
5	0.000000

Tabla 3.3 - Distorsión de la sección central

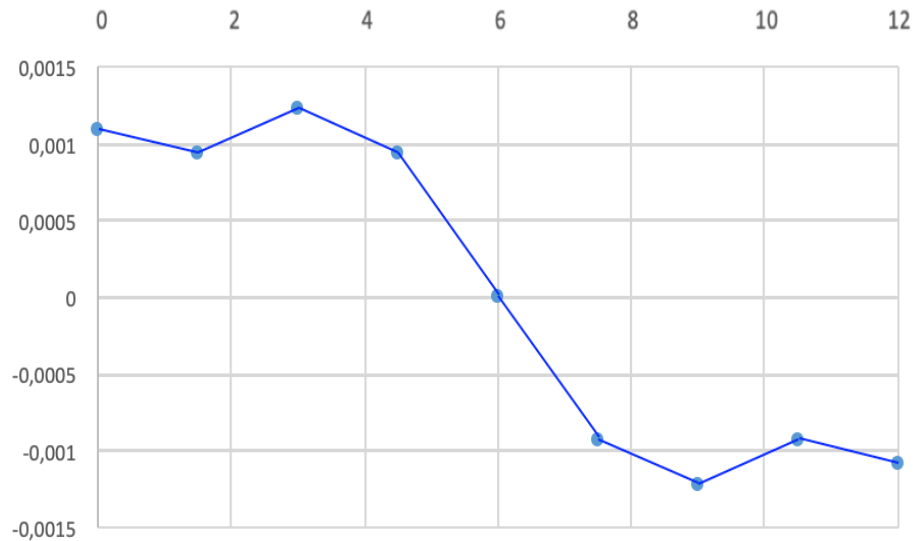


Figura 3.20 - Distorsión de la sección central

La mayor distorsión se produce cuando la carga se encuentra en el ala de la sección; la distorsión va disminuyendo a medida que la carga se acerca al centro de la sección. Así, cuando la carga está situada en el centro ($y = 6\text{ m}$) la distorsión es cero por la condición de simetría y la ausencia de torsión.

3.1.1.5.3 Variación en las tensiones

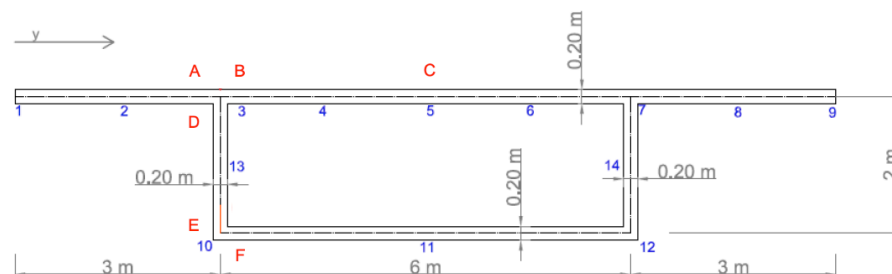


Figura 3.21 - Puntos significativos

En la Figura 3.21, se muestran las zonas de interés para estudiar la variación que se produce en las tensiones y esfuerzos. Concretamente en el estudio de la variación en las tensiones longitudinales nos centraremos en los nodos 3 y 10, observando la variación en la sección 'B' y 'F' respectivamente.

En las siguientes figuras aparecen las líneas de influencia de las tensiones longitudinales de la sección central en los nodos 3 y 10 de la losa superior e inferior cuando se desplaza la carga puntual de 1000 kN. Los valores de las tensiones se expresan en kN/m^2 .

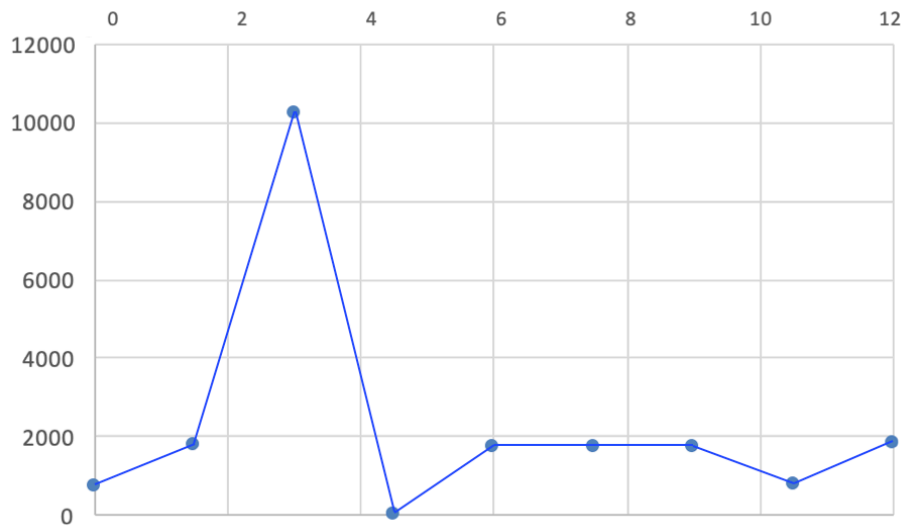


Figura 3.22 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

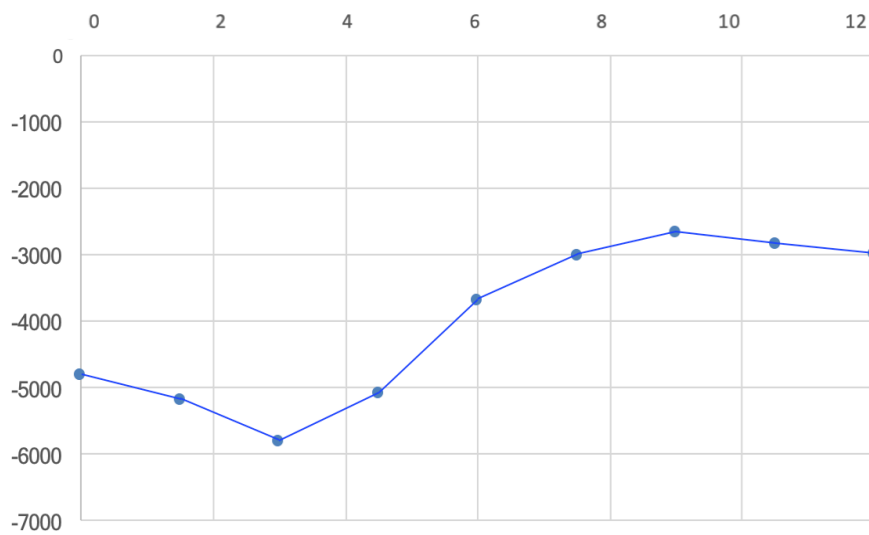


Figura 3.23 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

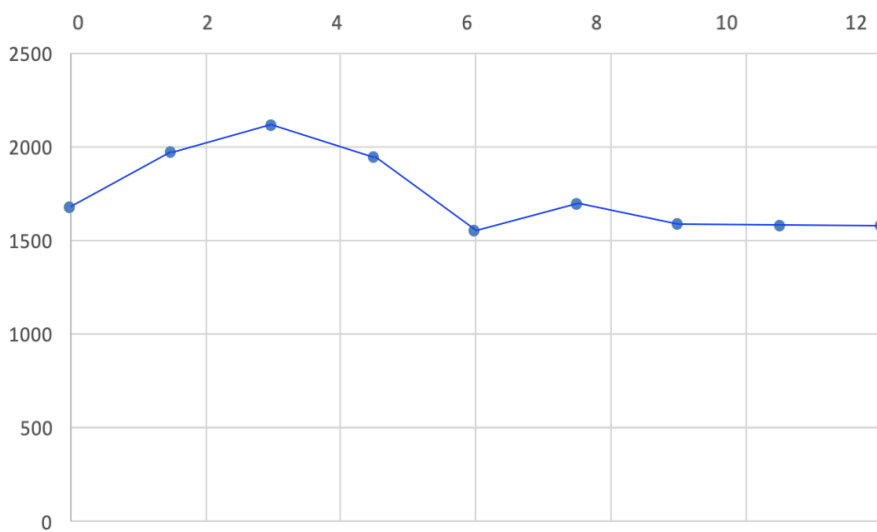


Figura 3.24 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 15$ m

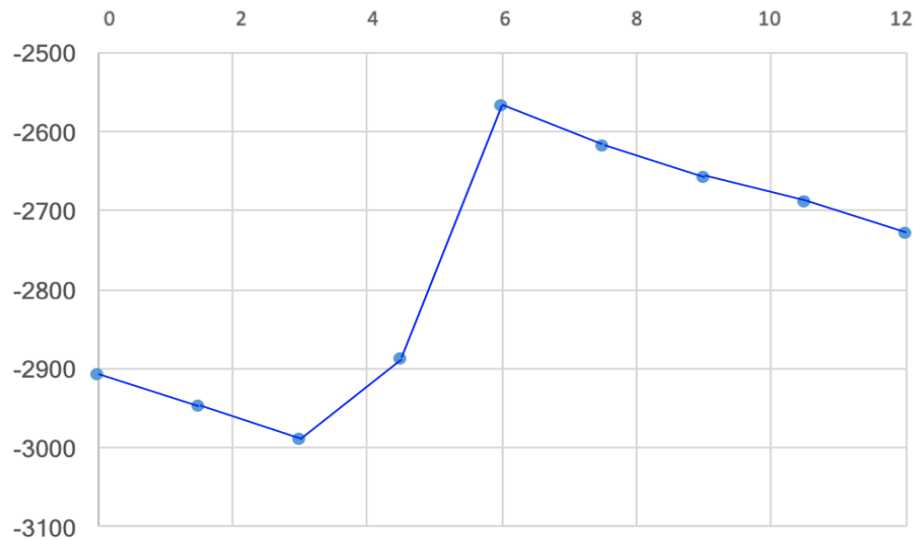


Figura 2.25 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 15$ m

3.1.1.5.4 Variación en los esfuerzos

Las zonas de interés para observar la variación de los esfuerzos provocados por la carga móvil a lo largo de la sección central son las mostradas en la Figura 3.21. Estos puntos corresponden a los nodos 3, 5 y 10 y es interesante conocer si la zona pertenece al ala, losa o alma.

Se han representado los elementos placas contiguos a dichos nodos representados por A, B, C, D, E y F, donde se observarán las líneas de influencia debido a las cargas en diferentes posiciones.

- Momentos flectores:

Los momentos flectores transversales se deben a la distorsión de la sección y a la flexión transversal provocada a la carga. A continuación, se muestran las líneas de influencia en las secciones al desplazarse la carga a lo largo de la sección, cuya variación nos proporciona ideas básicas sobre el funcionamiento de la sección.

En la Figura 3.26, se detallan la línea de influencia de M_y en la sección A de la sección central para las diferentes situaciones de la carga puntual sobre la losa superior. Los esfuerzos están expresados en $\text{kN} \cdot \text{m/m}$.

Se puede observar una gran diferencia entre los valores de las posiciones D y E del alma, lo que conduce a la idea de la conveniencia de dimensionar las secciones cajón con almas de espesor variable, siendo su valor máximo en la zona superior. Esto es debido también a que las tensiones tangenciales son mayores en la parte superior.

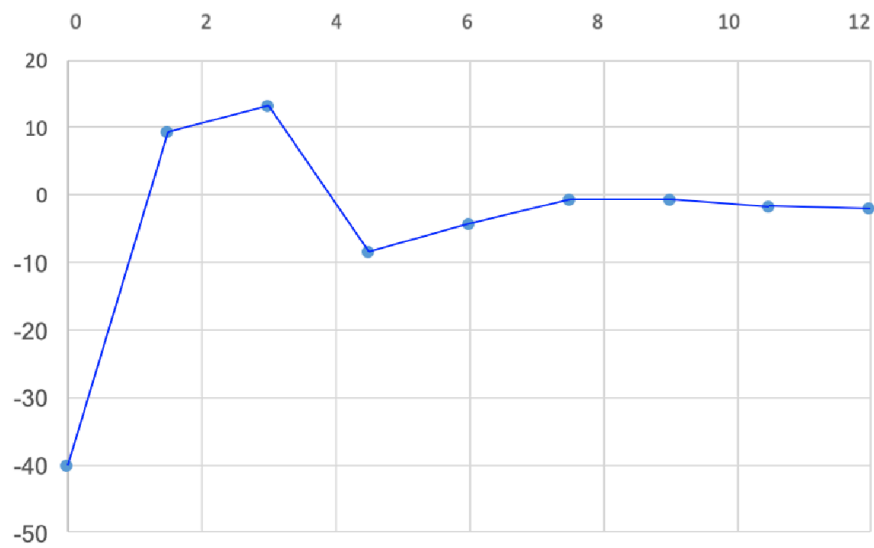


Figura 3.26 - My Sección A

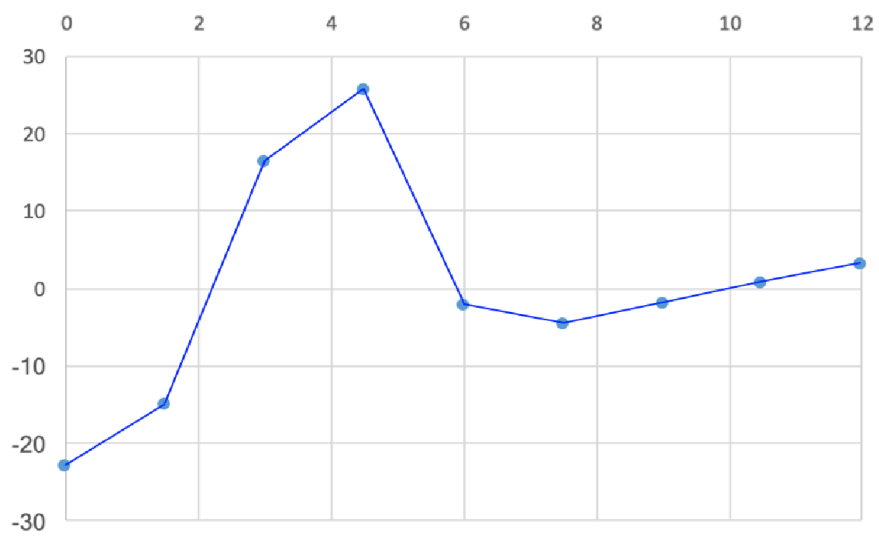


Figura 3.27 - My Sección B

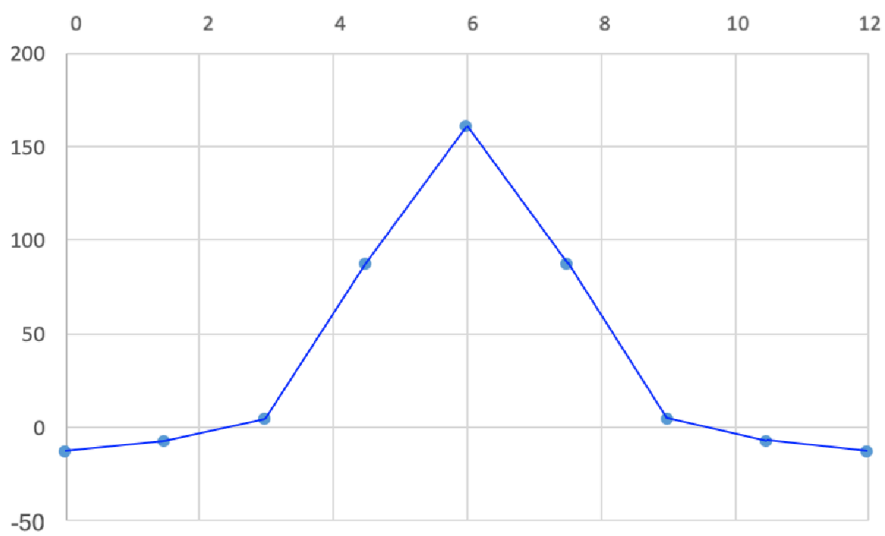


Figura 3.28 - My Sección C

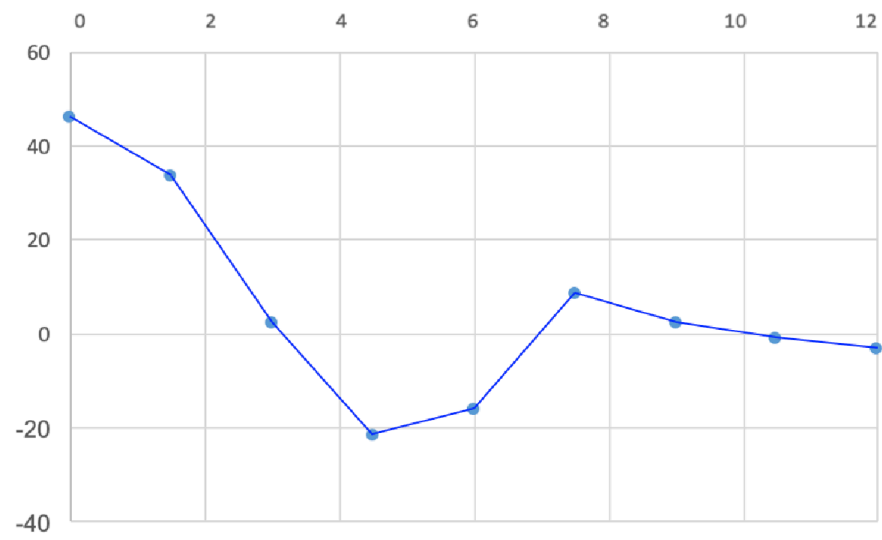


Figura 3.29 - My Sección D

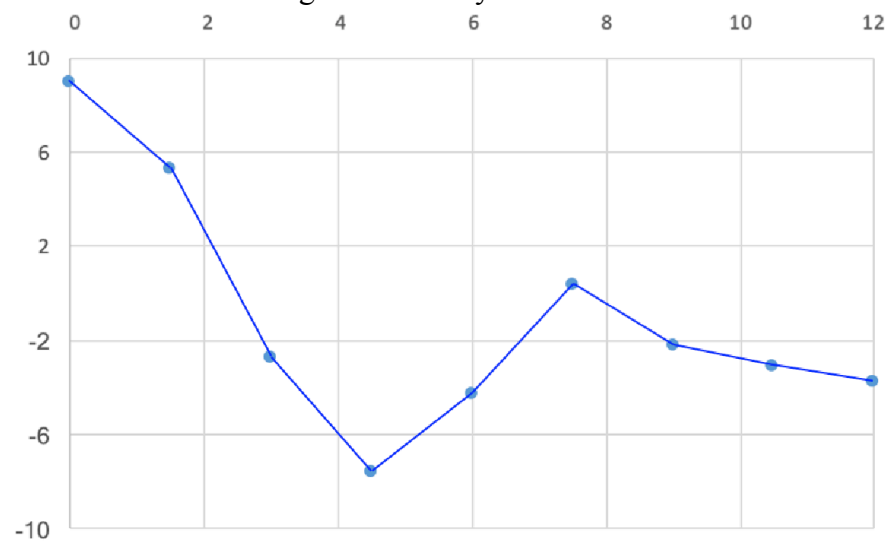


Figura 3.30 - My Sección E

- **Esfuerzos axiles:**

Los esfuerzos axiles N_y (kN/m) son, en general, mayores cuando la carga está sobre el alma. Los esfuerzos axiles N_y vienen expresados en (kN/m).

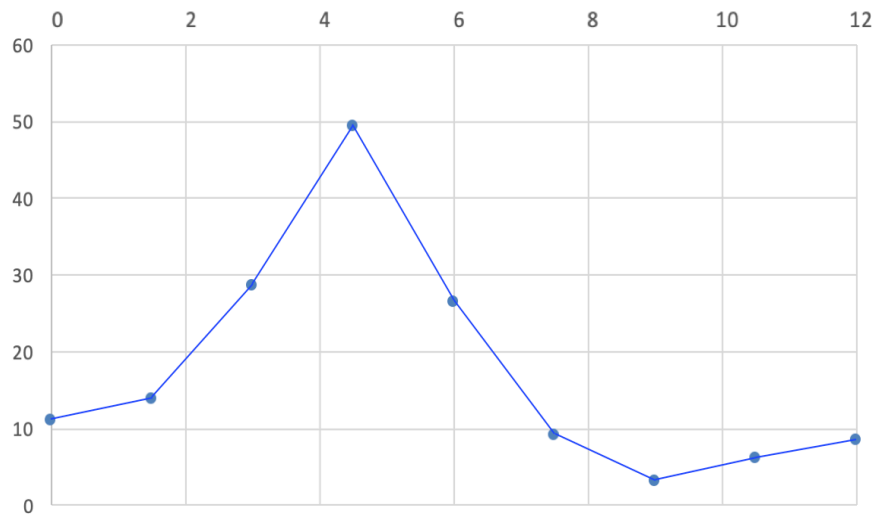


Figura 3.31 - N_y Sección A

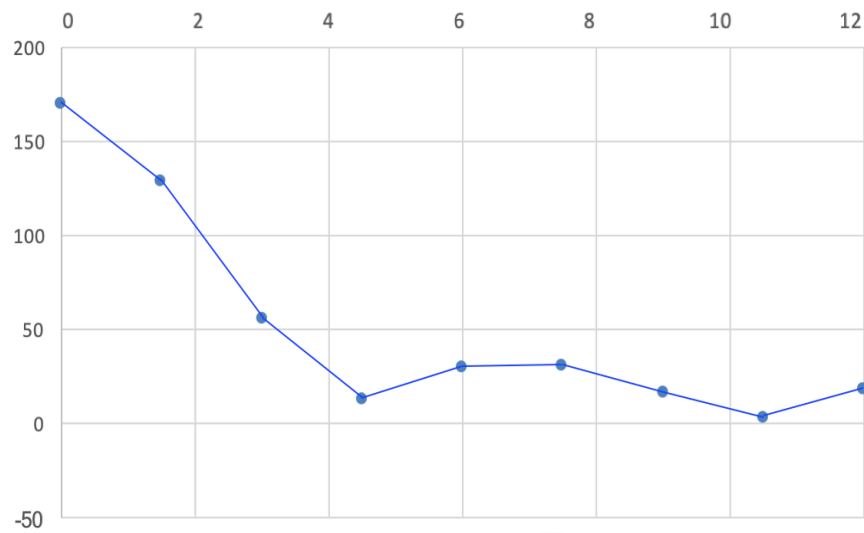


Figura 3.32 - N_y Sección B

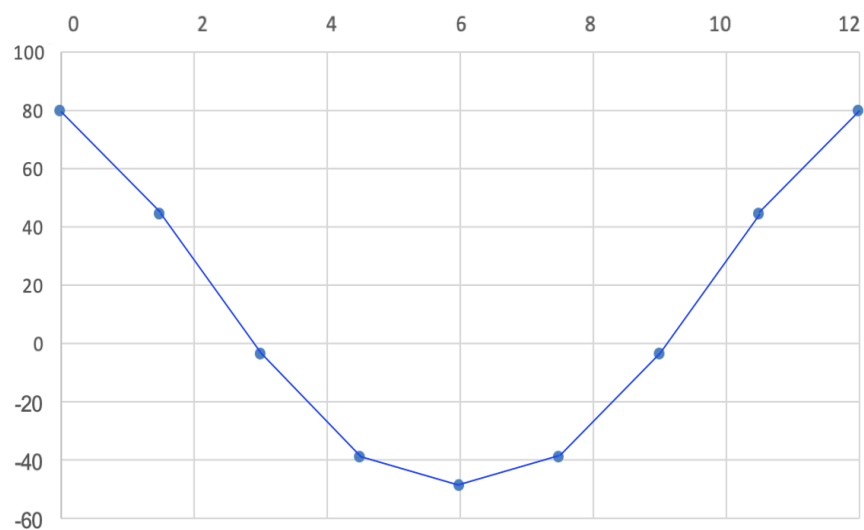


Figura 3.33 - Ny Sección C

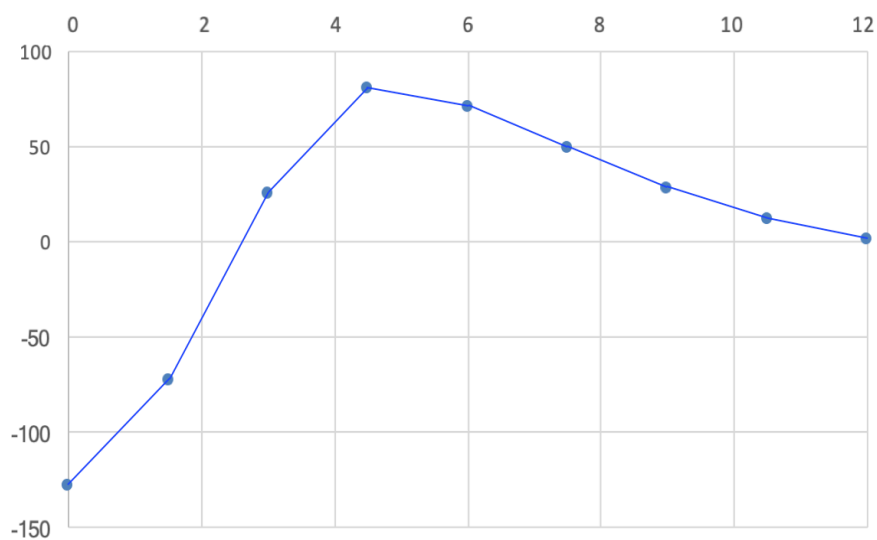


Figura 3.34 - Ny Sección F

3.1.2 Respuesta ante carga distribuida

Para el estudio del modelo bajo la acción de cargas distribuidas se hace uso de tres tipos de cargas, como aparece en la Figura 3.35.

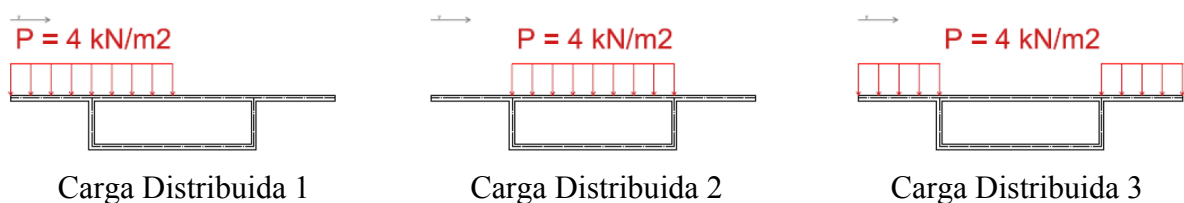


Figura 3.35 - Modelos de carga distribuidas

La carga distribuida 1 se aplica desde el ala izquierda hasta el centro de la sección, la carga distribuida 2 se encuentra en el centro de la losa superior y, por último, la carga distribuida 3 se aplica en las dos alas de la sección, todas ellas se aplican a lo largo de 6 metros; con una magnitud de 4 kN/m^2 , que en la longitud del puente suponen 960 kN, aproximadamente los 1000 kN de la carga puntual.

3.1.2.1 Desplazamientos

La carga distribuida 1 tiene el mayor interés en el estudio de los desplazamientos debido a que, el resto de las cargas distribuidas, al ser simétricas se obtendrán ninguna distorsión ocasionando solo deformaciones longitudinales. Además, la aplicación de la carga distribuida 1 provoca momentos flectores y momentos torsores.

Los desplazamientos que se observan en las Figuras 3.37, 3.38 y 3.39 son menores, aunque similares a los provocados por la aplicación de la carga puntual 1, excepto la zona del extremo del ala que al tener la carga aplicada en esa zona la deformación es mayor, aunque menos que en el caso puntual.

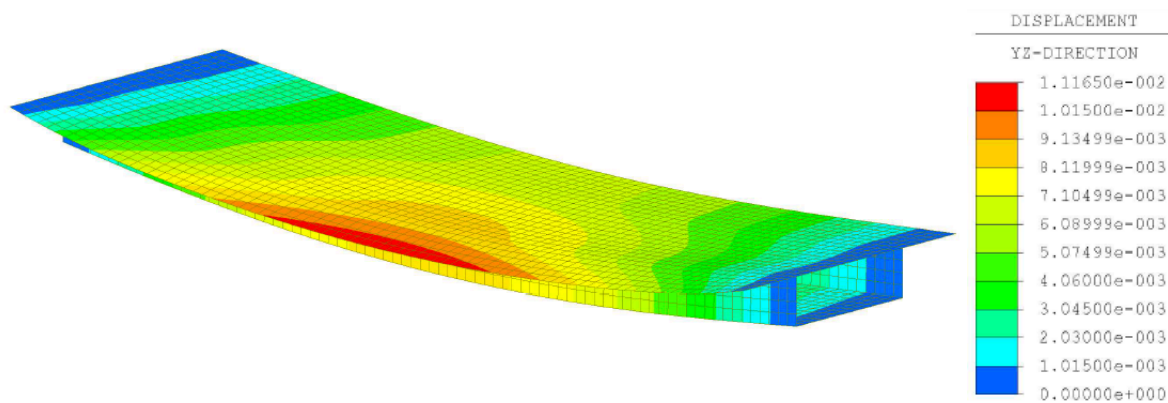


Figura 3.36 - Desplazamiento del modelo (m)

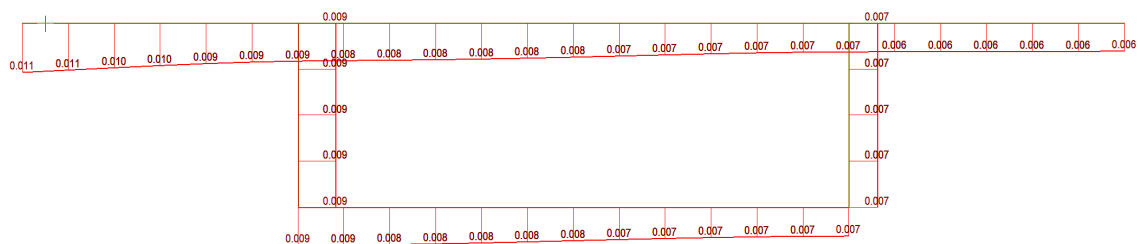


Figura 3.37 - Desplazamiento (m) para $x = 20\text{m}$

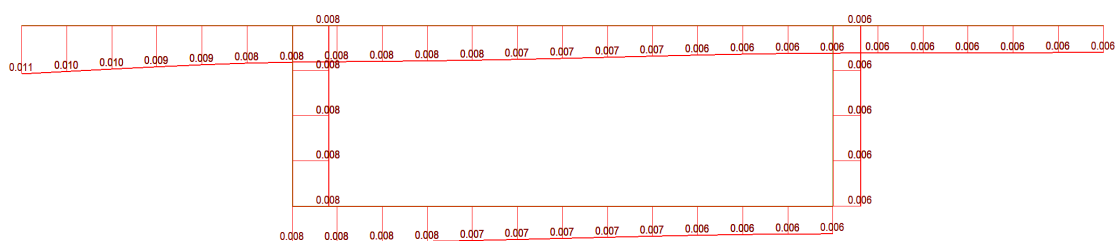


Figura 3.38 - Desplazamiento (m) para $x = 15\text{m}$

Los desplazamientos en $x = 20$ m y $x = 15$ m son similares y la influencia de las condiciones de contorno no son notables hasta que no nos aproximamos al apoyo.

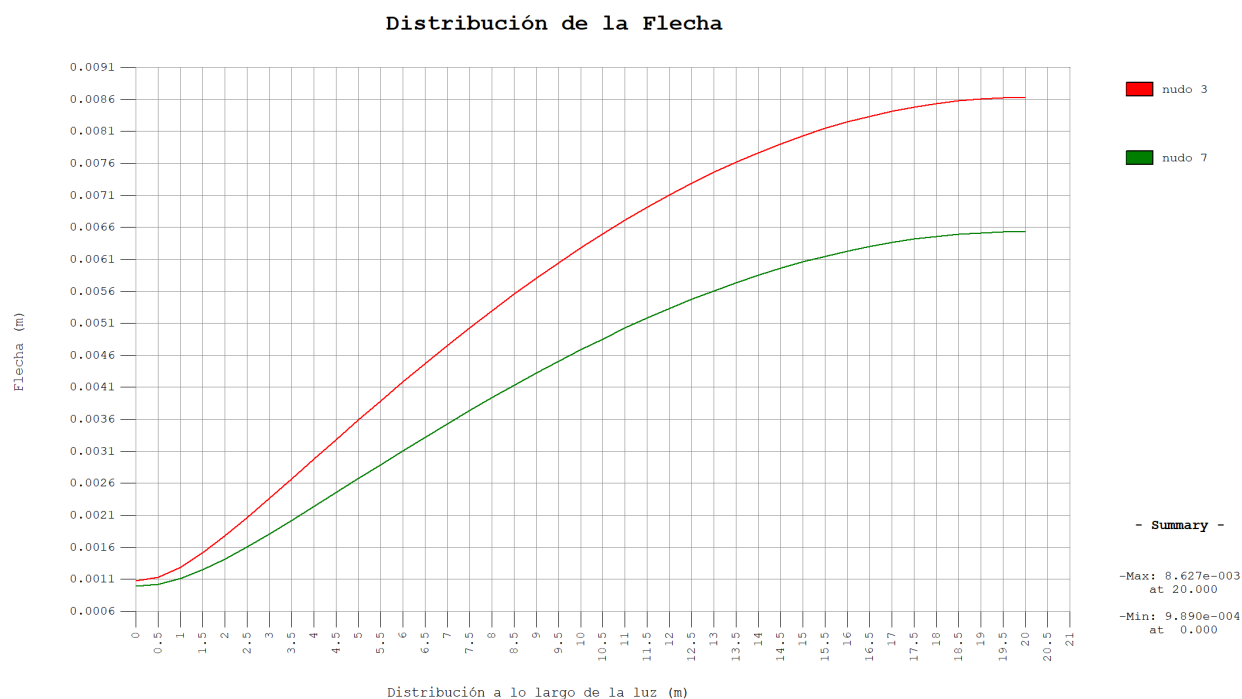


Figura 3.39 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

En la Figura 3.39, se aprecia que las flechas de los nodos 3 y 7 son aproximadamente la mitad de los obtenidos bajo carga puntual.

3.1.2.2 Distorsión

La carga distribuida 1 es la de mayor interés en el estudio de la distorsión, debido a que el resto de cargas distribuidas son simétricas.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00140	0.00003	0.00895	0.00016	0.00899	0.00016	0.00258	0.00005	0.00019
10	0.00212	0.00004	0.01530	0.00027	0.01534	0.00027	0.00421	0.00007	0.00032
15	0.00229	0.00004	0.01888	0.00033	0.01892	0.00033	0.00490	0.00009	0.00039
16	0.00229	0.00004	0.01929	0.00034	0.01934	0.00034	0.00499	0.00009	0.00040
17	0.0022	0.00004	0.01961	0.00034	0.01965	0.00034	0.00504	0.00009	0.00041
18	0.00229	0.00004	0.01984	0.00035	0.01988	0.00035	0.00507	0.00009	0.00041
19	0.00229	0.00004	0.01997	0.00035	0.02002	0.00035	0.00507	0.00009	0.00041
20	0.00229	0.00004	0.02007	0.00035	0.02006	0.00035	0.00507	0.00009	0.00041

Tabla 3.4 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

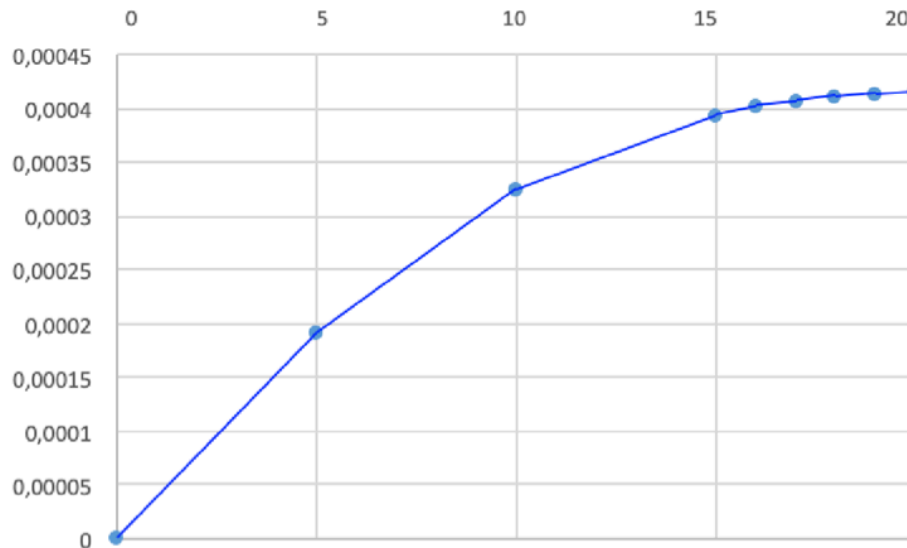


Figura 3.40 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

La distorsión que provoca la carga distribuida 1 en comparación con la distorsión que provoca la carga puntual es, aproximadamente, un tercio. Por tanto, la sección presenta un peor comportamiento con cargas puntuales. Sin embargo, ante cargas distribuidas la sección absorbe mejor los desplazamientos a lo largo del vano.

3.1.2.3 Tensiones

3.1.2.3.1 Tensiones longitudinales

A continuación, se representan las distribuciones de tensiones longitudinales para cargas distribuidas 1, 2 y 3 en las Figuras 3.41, 3.42 y 3.43, donde se puede observar la influencia en las tensiones longitudinales de las cargas distribuidas.

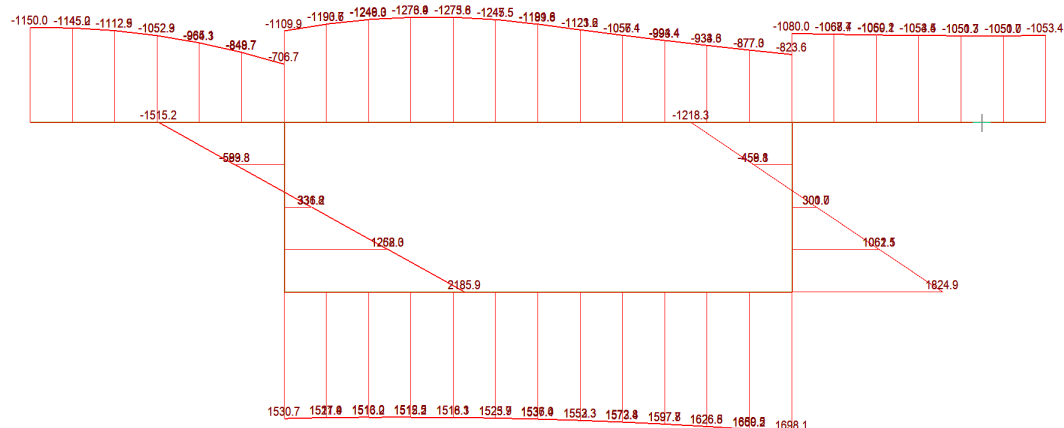


Figura 3.41 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz (x = 20 m)

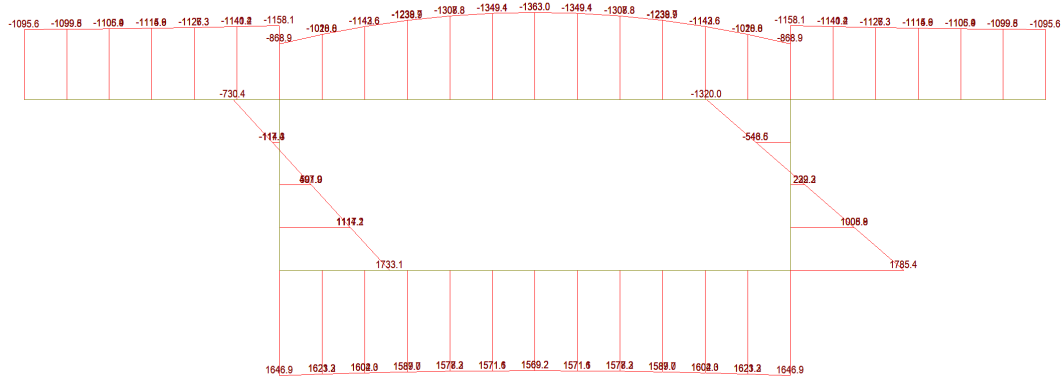


Figura 3.42 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 20$ m)

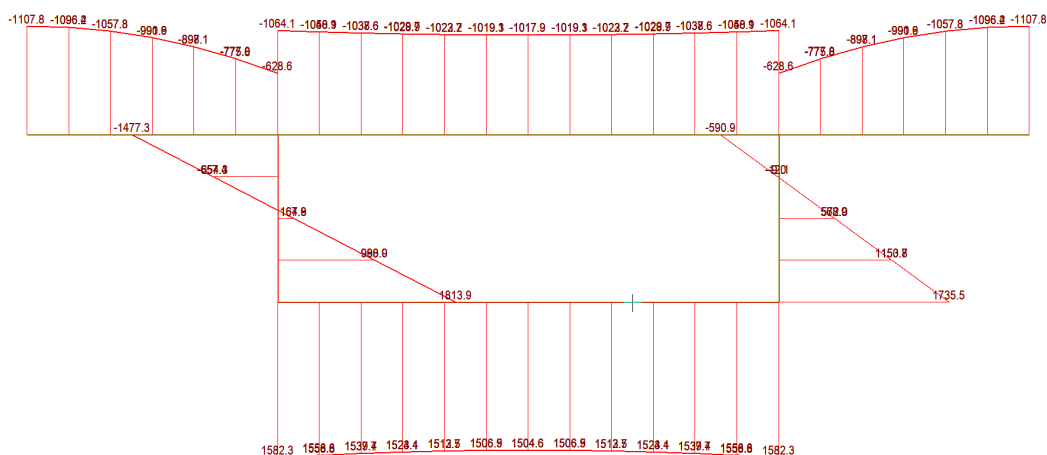


Figura 3.43 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 20$ m)

En los casos de carga distribuida 2 y 3, Figura 3.42 y 3.43, al existir una distorsión nula, presentan una distribución de tensiones longitudinales con leyes casi lineales que se asemejan a la Teoría de Resistencia de Materiales.

En cambio, el caso de la carga distribuida 1, Figura 3.41, al existir una distorsión mayor, los resultados se alejan en forma y valor de los que se habrían obtenido con la Teoría de Resistencia de Materiales.

Existe una diferencia entre las almas y las alas. En las almas, bajo carga puntual la distribución de las tensiones longitudinales no es lineal, mientras que bajo carga distribuida la distribución si es lineal. En las alas hay arrastre por cortante.

3.1.2.3.2 Tensiones tangenciales

Los valores de las tensiones tangenciales obtenidos son menores que las obtenidas en el caso de carga puntual.

La carga distribuida provoca unas tensiones tangenciales máximas en la sección del apoyo ($x = 0$ m) como se muestra en la Figura 3.45; sigue una distribución similar a las mostradas en la Figura 3.44, aunque que con valores menores a los obtenidos por la carga puntual.

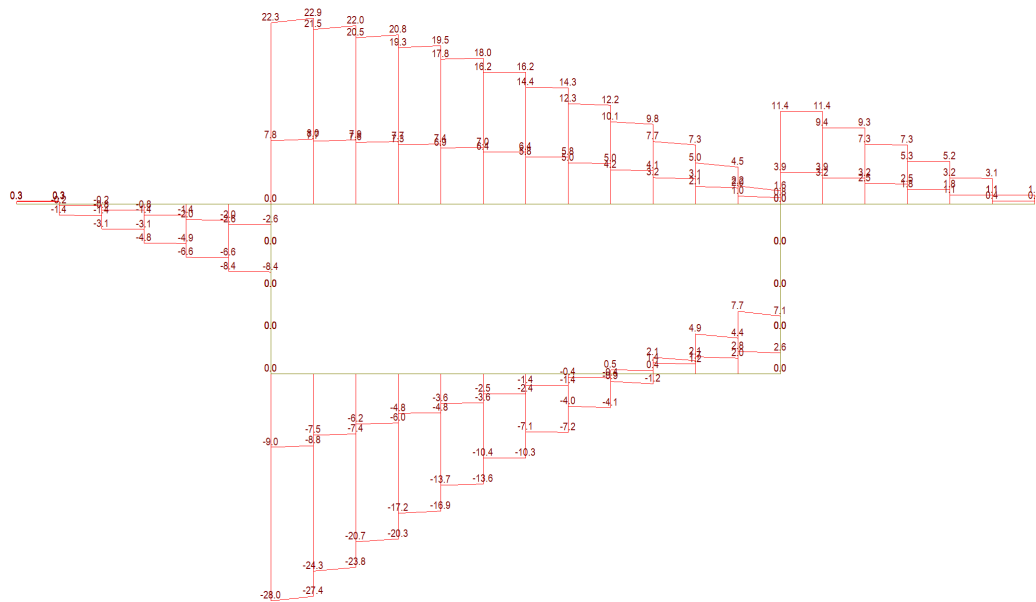


Figura 3.44 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 19.5$ m

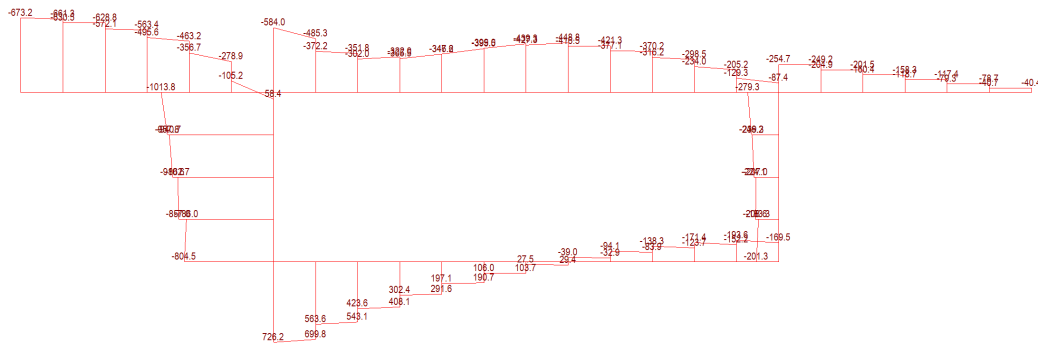


Figura 3.45 - Distribución τ_{xy} (kN/m^2) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0$ m

3.1.2.4 Esfuerzos

3.1.2.4.1 Momentos flectores transversales

La distribución de los momentos flectores M_y provocados por las diferentes cargas distribuidas en la sección central ($x = 20$ m) y la sección $x = 15$ m se muestran a continuación. La ley de momentos flectores debido a cargas distribuidas es más uniforme.

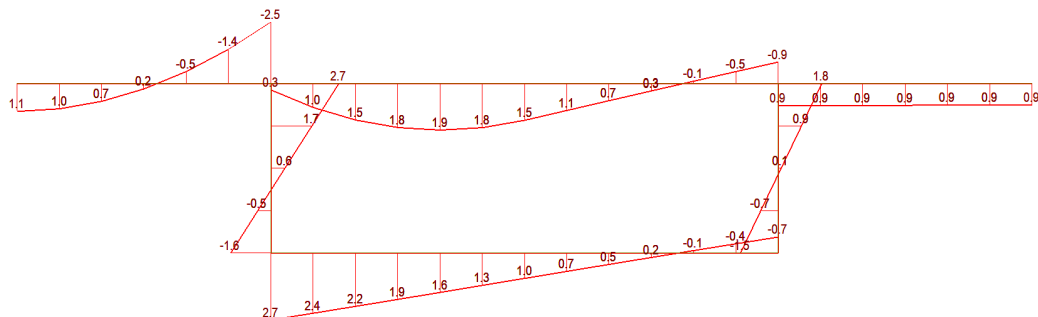


Figura 3.46 - Momento Flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central para C. Dist.1

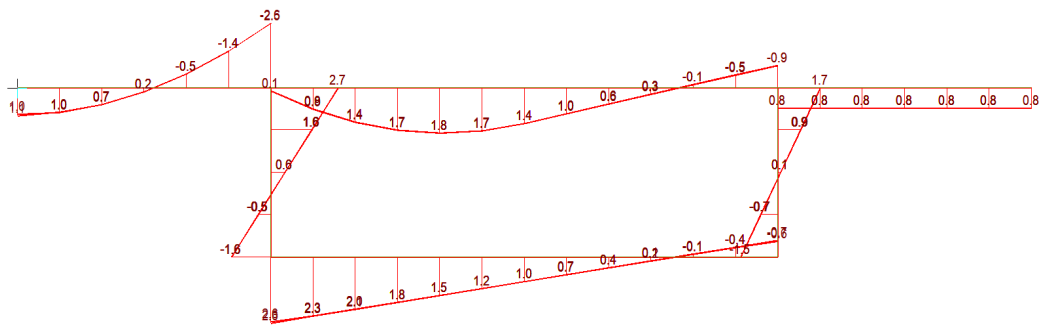


Figura 3.47 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección $x = 15$ m para C. Dist. 1

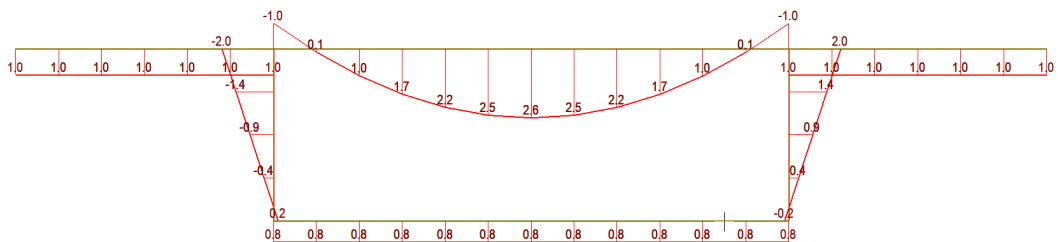


Figura 3.48 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central para C. Dist. 2

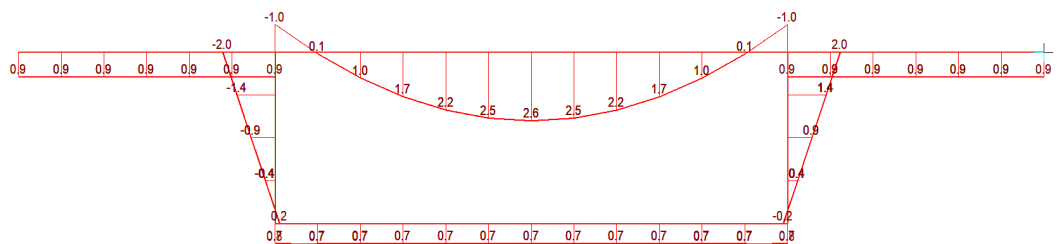


Figura 3.49 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección $x = 15$ m para C. Dist. 2

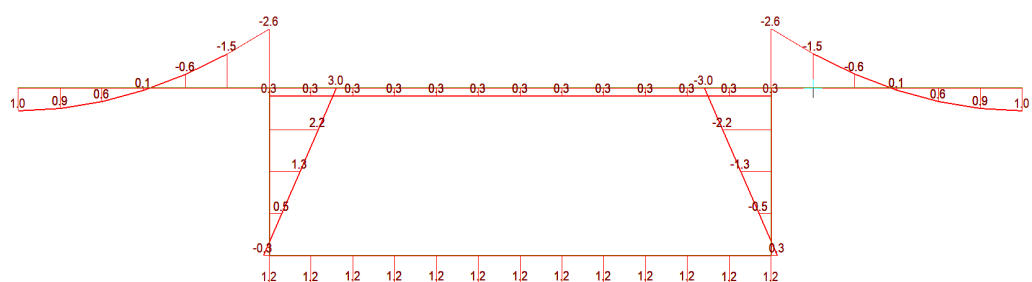


Figura 3.50 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central para C. Dist. 3

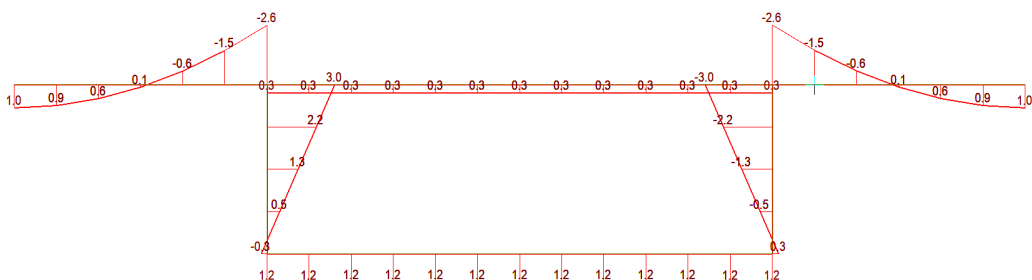


Figura 3.51 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección $x = 15$ m para C. Dist. 3

A continuación, se representa la distribución de momentos flectores a lo largo de la luz para los nodos 3, 7, 10 y 12. Los valores obtenidos son muy pequeños en comparación a los obtenidos con cargas puntuales.

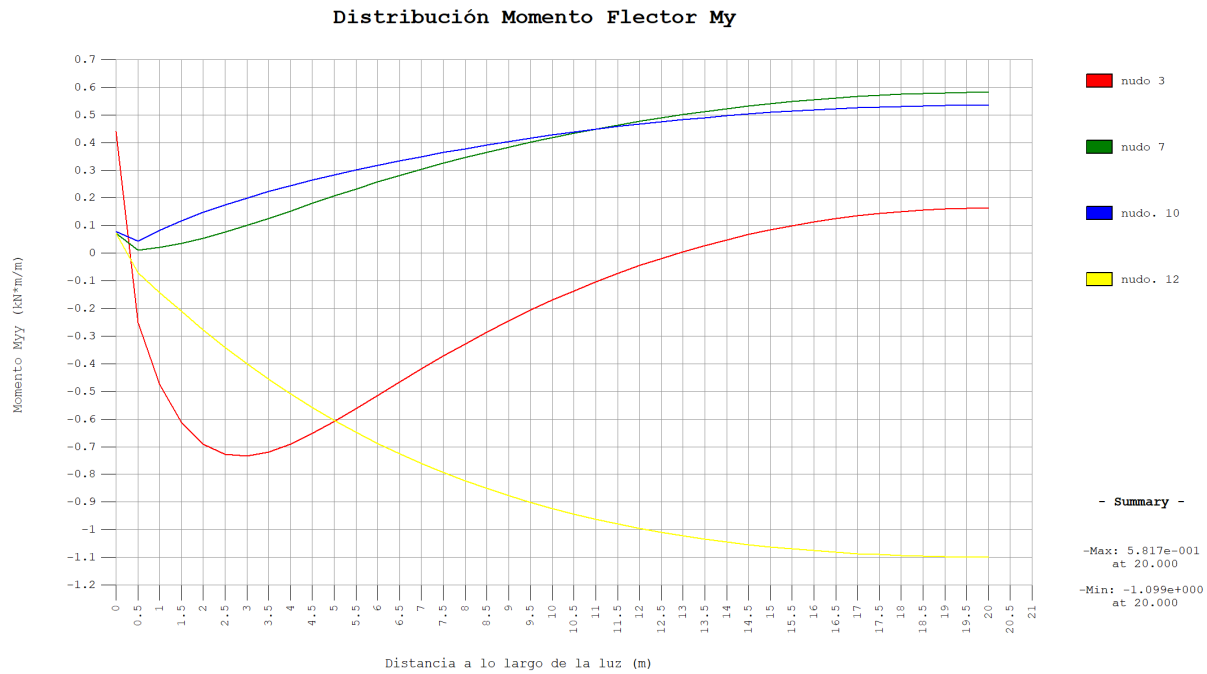


Figura 3.52 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 1

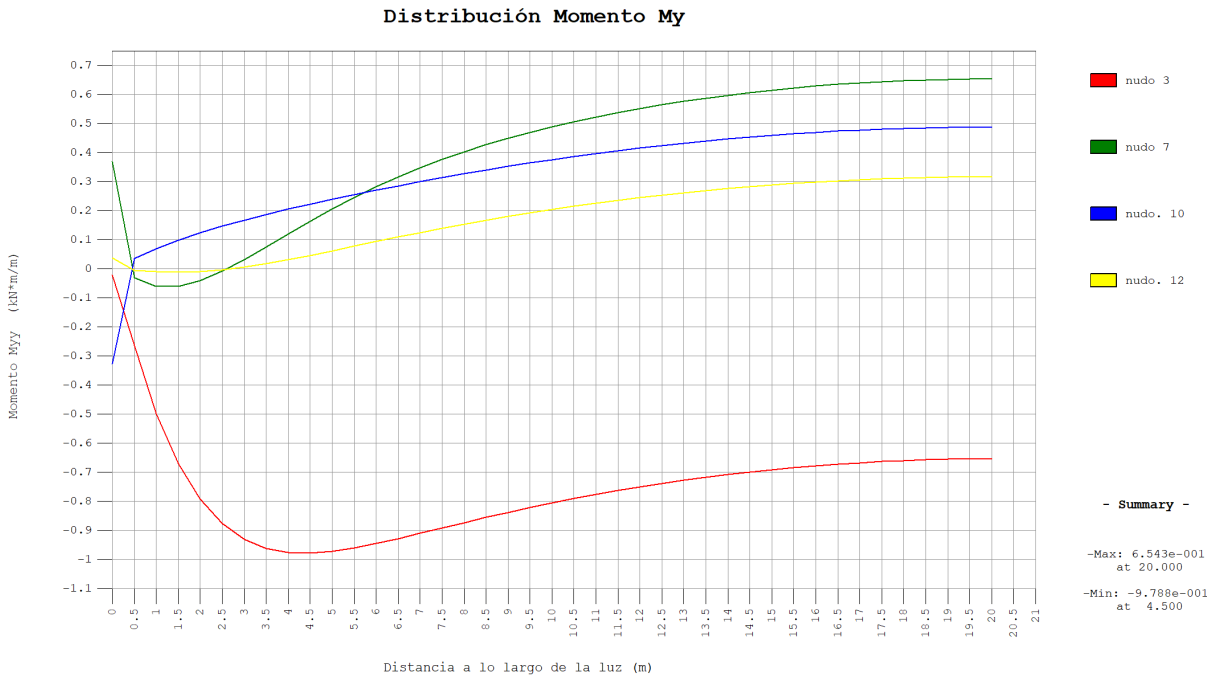


Figura 3.53 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 2

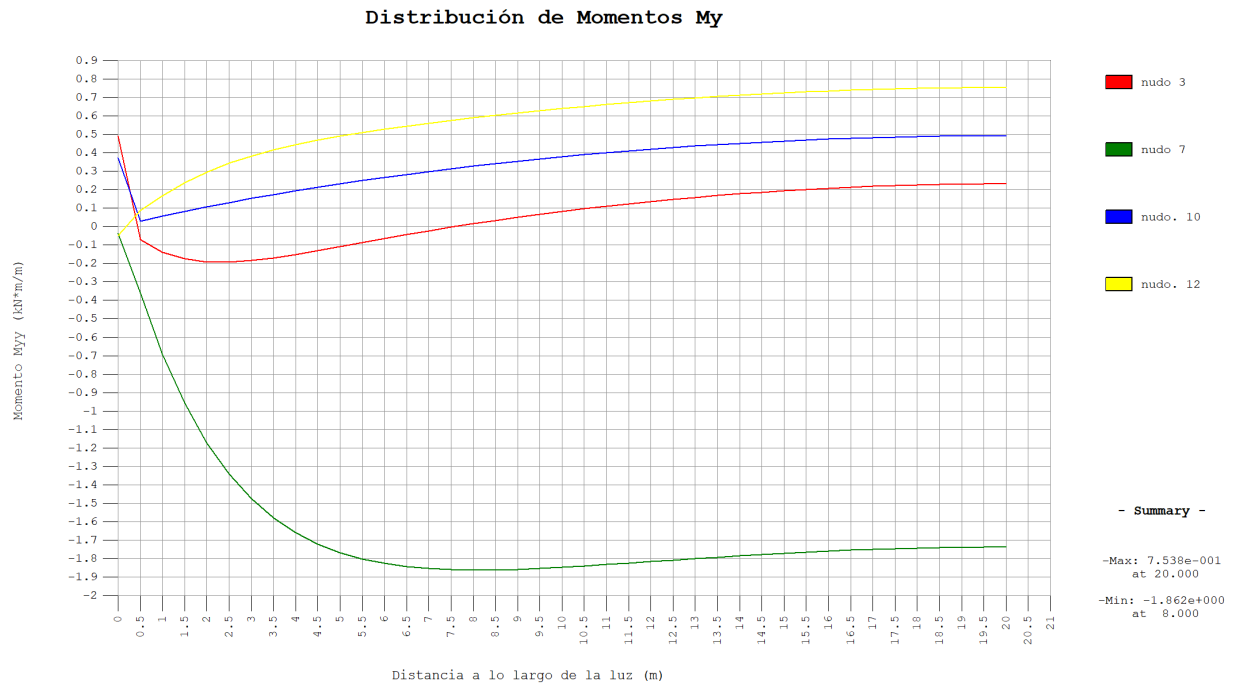


Figura 3.54 - Distribución del Momento flector My (kN·m/m) para la C. Dist. 3

3.1.2.4.2 Esfuerzos cortantes

Por tanto, como los esfuerzos cortantes son obtenidos a partir de las tensiones tangenciales, la influencia de los esfuerzos cortantes es muy pequeña.

Se ha representado en la Figura 3.55, únicamente la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para la carga distribuida 1, ya que los demás casos presentan valores aun menores.

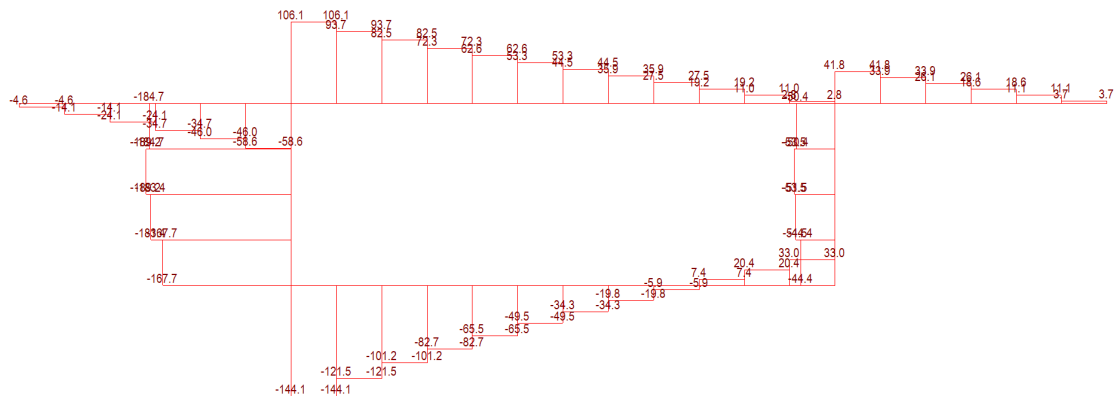


Figura 3.55 - Distribución del Cortante Nxy en la sección del apoyo ($x = 0\text{m}$) para C. Dist. 1

3.2 Comportamiento de la viga cajón de 100 m de longitud con almas verticales

El siguiente modelo contiene la sección en cajón con almas verticales, un vano central de 40 metros de longitud y dos vanos de 30 metros de longitud a cada lado formando una viga cajón de 100 metros.

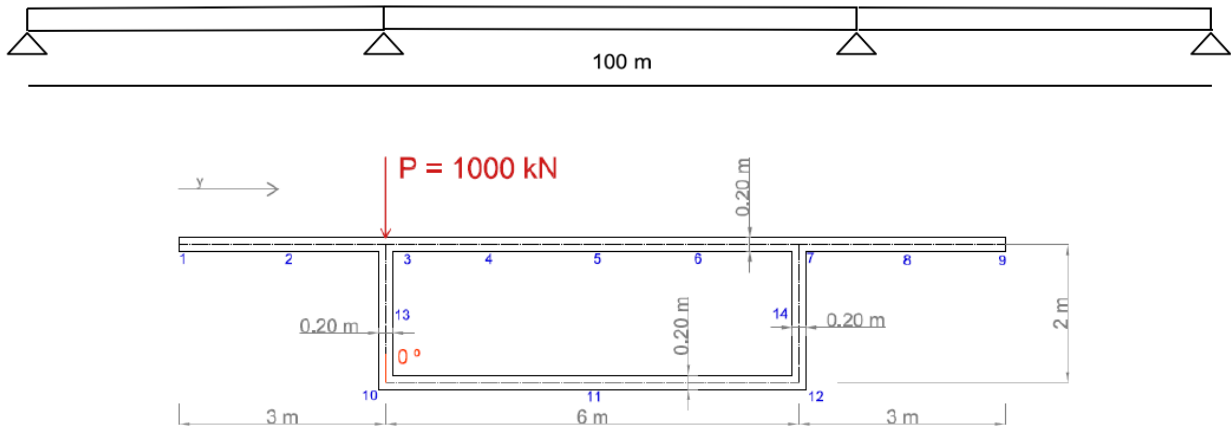


Figura 3.56 - Geometría

3.2.1 Respuesta ante cargas puntuales

Se vuelve a estudiar la carga aplicada de 1000 kN situada en el nodo 3, en la parte superior del alma izquierda de la sección; posteriormente, la carga irá desplazándose a los nodos 1,2,4 y 5. Por último, serán analizados los resultados para las diferentes cargas distribuidas.

3.2.1.1 Desplazamientos

En la Figura 3.57 se representan los desplazamientos del modelo ante la aplicación de la carga puntual en el nodo 3. Al igual que en el caso de la viga cajón de 40 metros, los desplazamientos más importantes se presentan en la zona más cercana a la aplicación de la carga.

En las Figuras 3.58 y 3.59, se muestran los desplazamientos en la sección $x = 50\text{m}$, es decir, centro del vano central, donde está aplicada la carga; en la segunda se muestra a una distancia 12.5 m para poder visualizar la disminución de los desplazamientos.

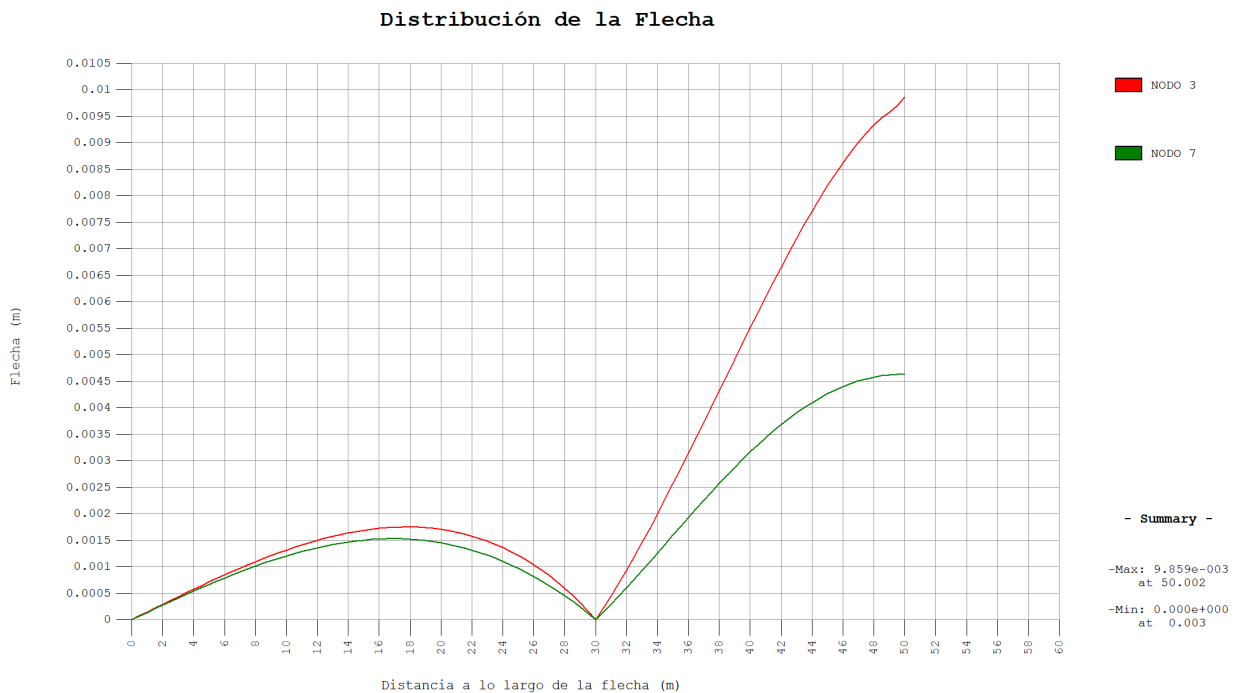


Figura 3.60 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Debido a que existen apoyos tanto en $x = 0$ m como en $x = 30$ m, la flecha en estas secciones es cero. A partir de la sección $x = 30$ m la flecha aumenta hasta el centro del del vano, situación en la que se encuentra aplicada la carga puntual.

Comparando la distribución de flecha del modelo de 40m y el modelo de 100 m de longitud, podemos observar que la flecha, tanto del nudo 7 como del nudo 3 en la sección central es aproximadamente el doble en el modelo de menor longitud.

3.2.1.2 Distorsión

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12,5	0.00043	0.00001	0.00410	0.00007	0.00406	0.00007	0.00026	0.00001	0.00008
25	0.00123	0.00002	0.00927	0.000162	0.00923	0.00016	0.00083	0.00002	0.00018
37,5	0.00278	0.00005	0.01541	0.00027	0.01538	0.00027	0.00304	0.00005	0.00032
40	0.00516	0.00009	0.02237	0.00039	0.02236	0.00039	0.00619	0.00011	0.00049
42,5	0.00819	0.00014	0.0299	0.00052	0.0299	0.00052	0.0100	0.00017	0.0007
45	0.011431	0.0002	0.03744	0.00065	0.03748	0.00065	0.01395	0.00024	0.00088
47,5	0.14353	0.00025	0.04419	0.00077	0.04425	0.00077	0.01728	0.00030	0.00105
50	0.01596	0.00028	0.04791	0.00084	0.04986	0.00087	0.01859	0.00033	0.00116

Tabla 3.5 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

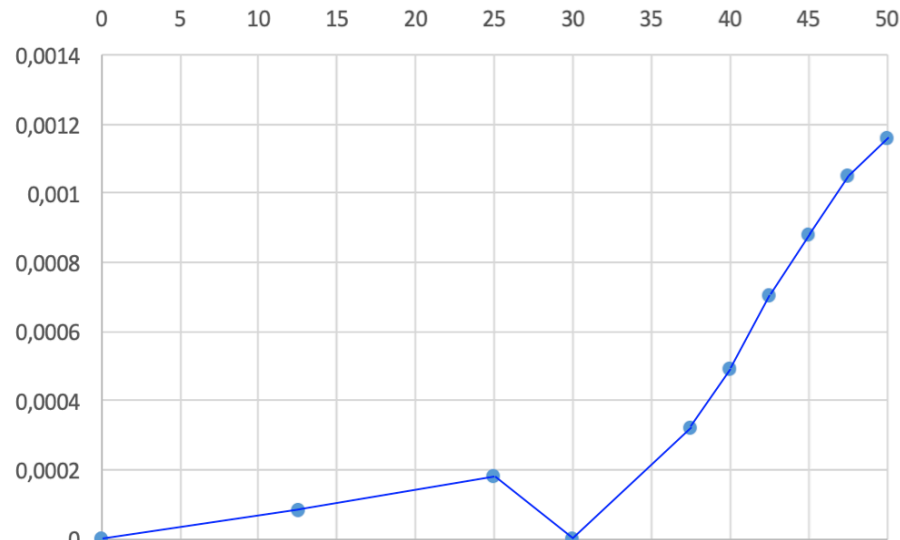


Figura 3.61 - Distribución de la distorsión

Puede observarse, que el valor máximo de la distorsión que produce la aplicación de la carga puntual en el nodo 3 en la sección central es, aproximadamente, igual que en el modelo de 40 m de longitud, aunque la distribución de la distorsión entre el apoyo situado en el extremo ($x = 0$ m) y el situado en $x = 30$ m es prácticamente lineal y de valor pequeño; el aumento de la distorsión aparece en el tramo de los apoyos centrales.

La torsión en el vano lateral debería ser nula, pero la torsión se transmite a los vanos laterales a través del alabeo.

3.2.1.3 Tensiones

3.2.1.3.1 Tensiones longitudinales

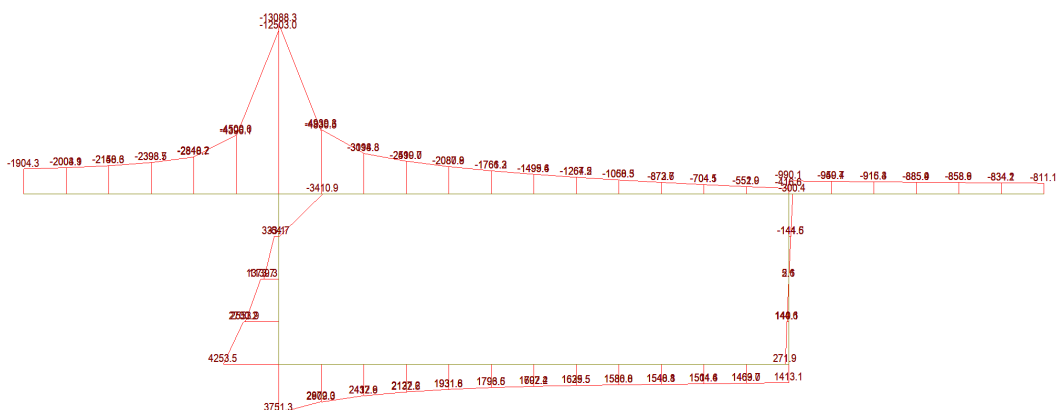


Figura 6.62 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 50$ m)

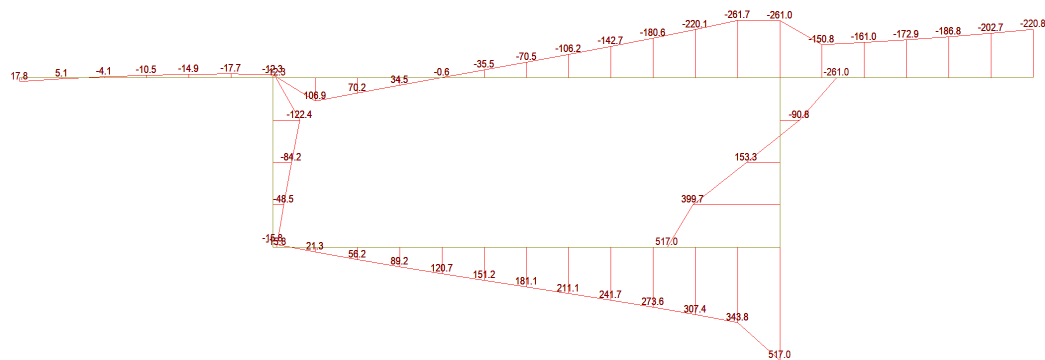


Figura 3.63 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 37.5$ m

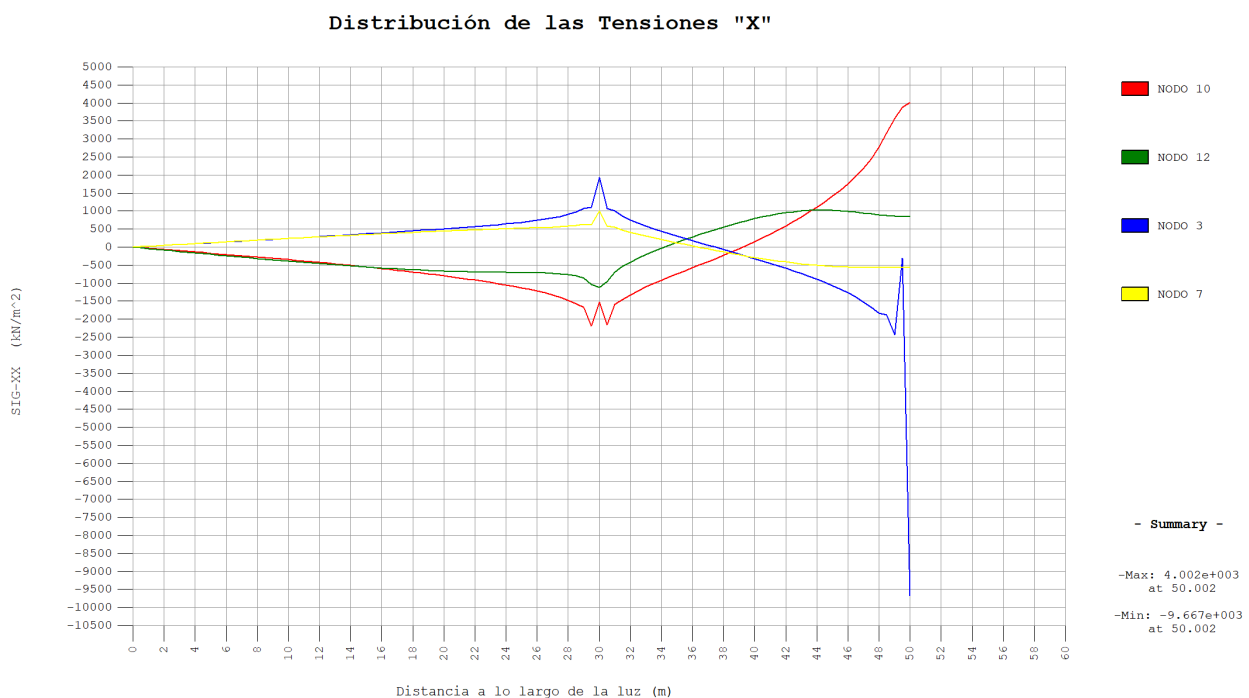


Figura 3.64 - Distribución a lo largo de la luz σ_{xx} (kN/m²)

La distribución de tensiones longitudinales presenta gran similitud con las obtenidas para el modelo anterior (vano de 40 m de longitud), produciéndose la perturbación más importante en el nodo 3, ya que es donde se aplica la carga. A medida que nos alejamos de la carga las tensiones van disminuyendo.

Existe una diferencia relevante entre los dos modelos, en $x = 30$ m se encuentra un apoyo que provoca una perturbación. Consecuencia de esto, es que existe un cambio de signo de las tensiones a lo largo de la longitud del vano.

En general, el M_x es menor con 100 m que con 40 m, por lo tanto, σ_{xx} es menor. Los valores son notablemente menores, salvo el nodo 3 que, en el centro del vano, ambos modelos presentan un valor muy aproximado, debido al efecto local de la carga que es igual en ambos modelos.

3.2.1.3.2 Tensiones tangenciales

En las Figuras 3.65 y 3.66, se muestran la distribución de tensiones tangenciales en las secciones $x = 48.75$ m y $x = 47.5$ m, estas secciones presentan interés debido a la cercanía a la situación de la carga.

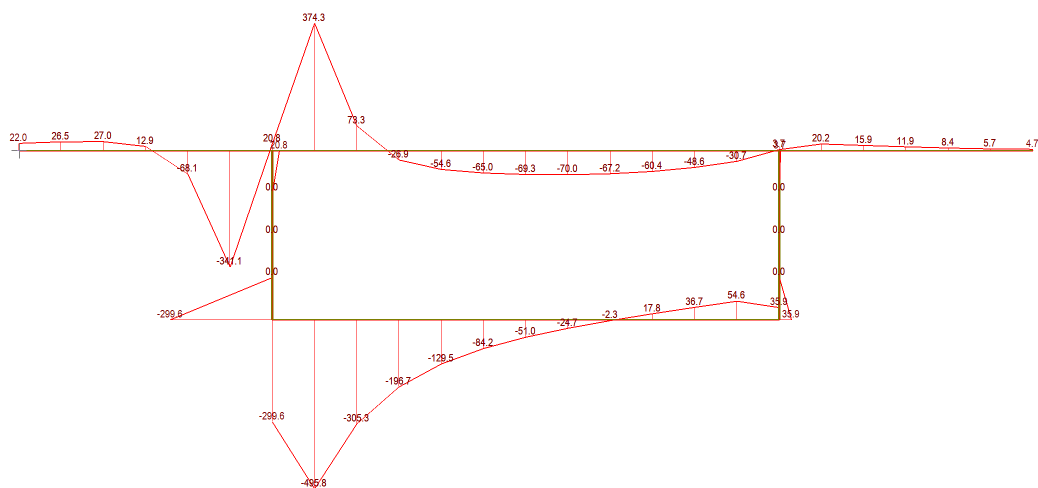


Figura 3.65 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección $x = 48.75$ m

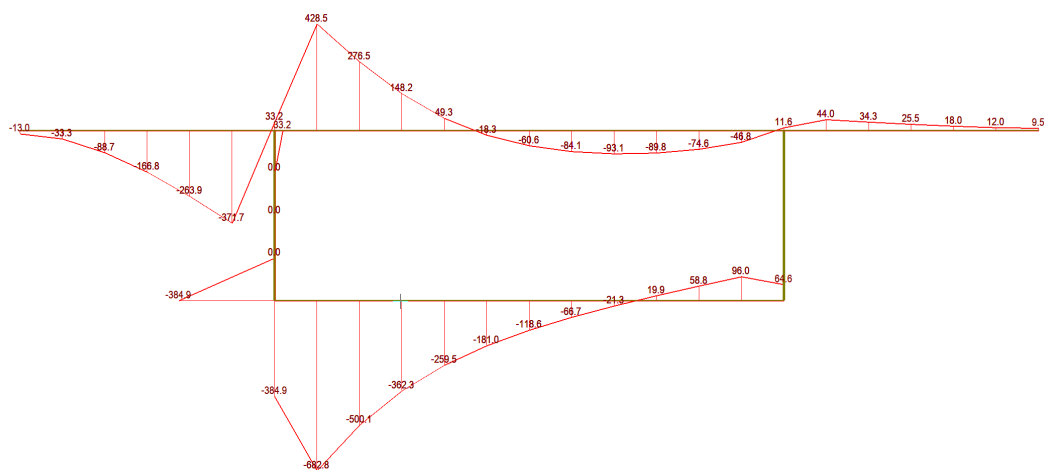


Figura 3.66 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección $x = 47.5$ m

3.2.1.4 Esfuerzos

3.2.1.4.1 Momentos flectores transversales

Se presentan los diagramas de los momentos flectores en la sección central ($x = 50\text{m}$) y $x = 37.5\text{m}$ y la distribución del momento flector en los nodos 3 y 12 a lo largo de la luz.

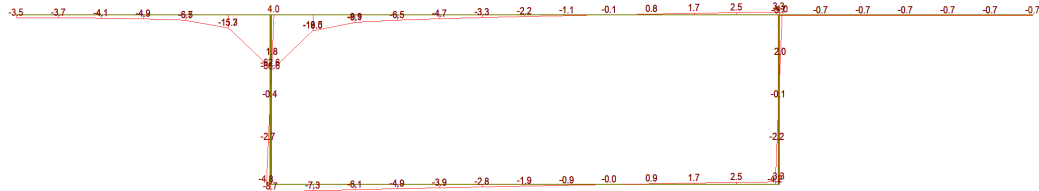


Figura 3.67 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central ($x = 50\text{ m}$)

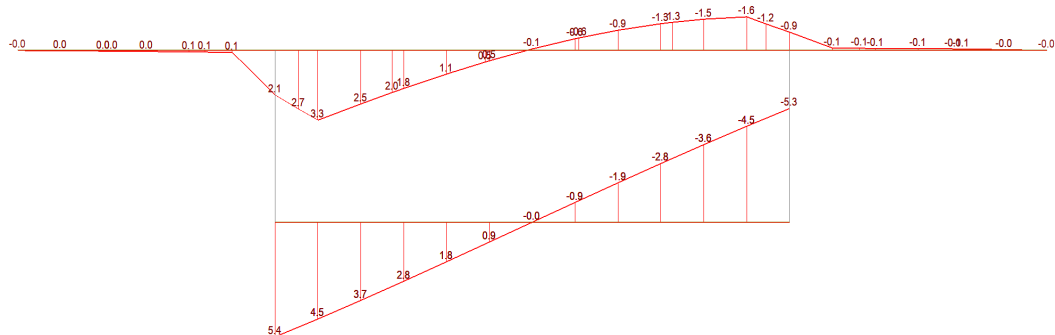


Figura 3.68 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 37.5\text{ m}$

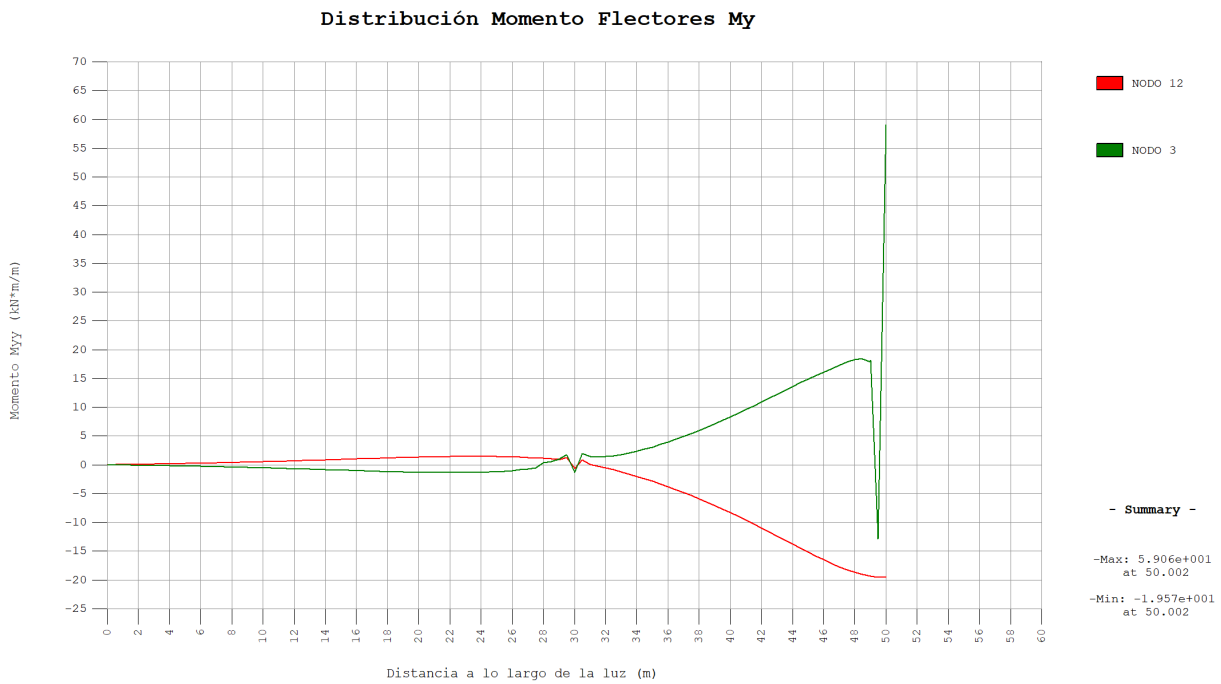


Figura 3.69 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) a lo largo de la luz

Analizando la distribución del momento flector M_y a lo largo de la luz, podemos ver como en el modelo de 100 m de longitud el máximo, que se encuentra en el nodo 3, es menor que el modelo de 40 m. En el nodo 12, también presenta un momento flector menor. Por tanto, podemos concluir, que los momentos flectores del modelo de 100 m son menores que el modelo de 40 m, ambos con las almas rectas en su sección.

3.2.1.4.2 Esfuerzos cortantes N_{xy}

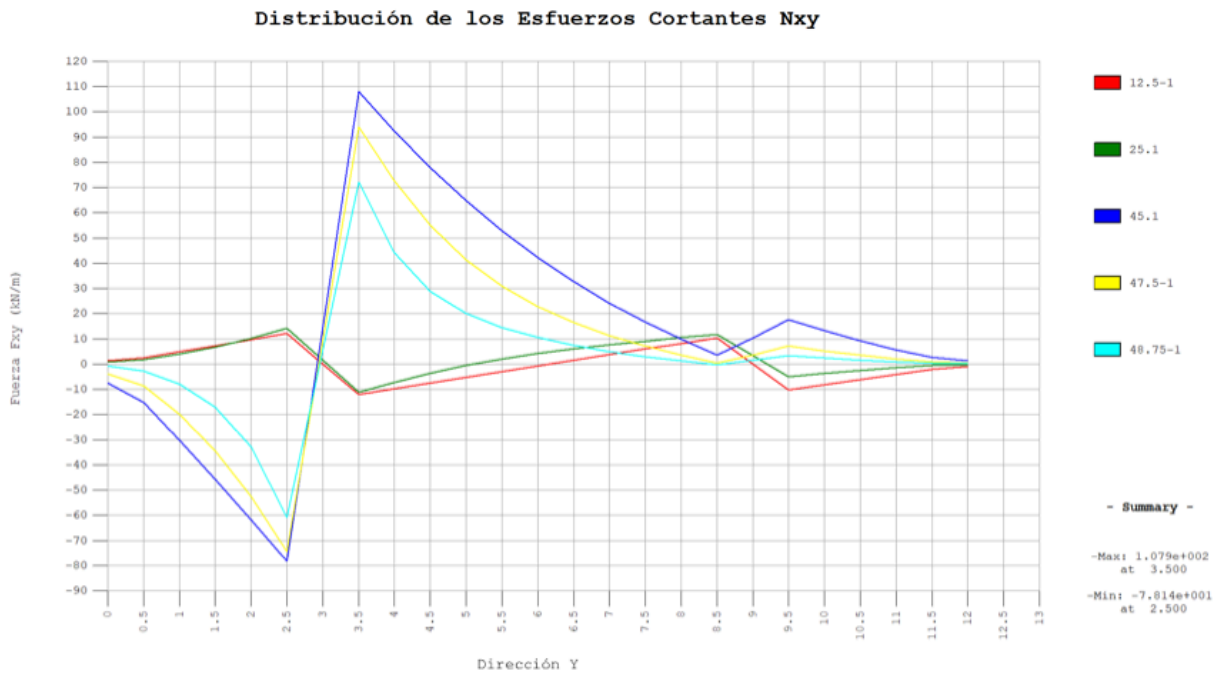


Figura 3.70 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Se representa la distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} a lo largo de la sección en dirección 'y'. Se produce una perturbación en el entorno del nodo 3, debido a que es este nodo donde se aplica la carga puntual de 1000 kN.

3.2.1.5 Influencia de la situación de la carga

Se procede al estudio de la viga cajón de 100 metros de longitud cambiando la situación de la carga puntual de 1000 kN en diferentes puntos de la losa superior como se indica en la Figura 3.71.

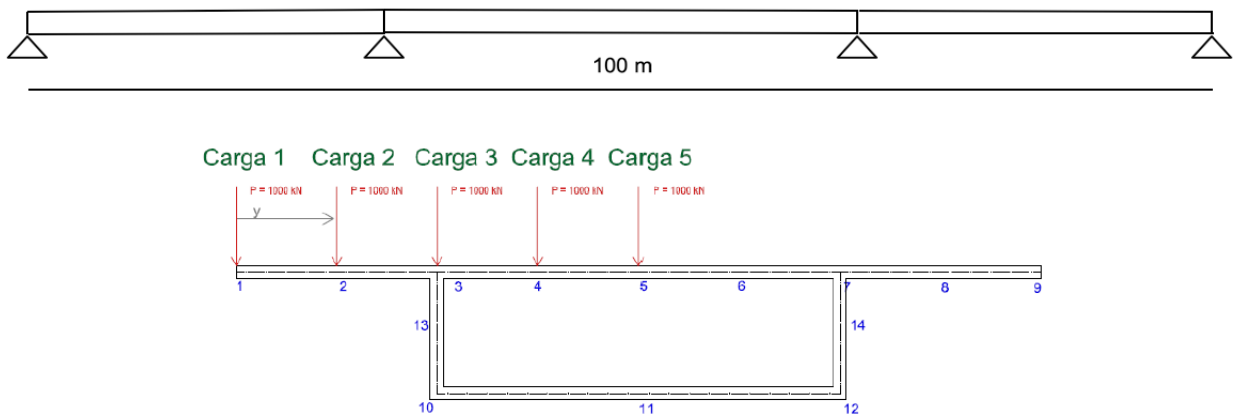


Figura 3.71 - Situación de las cargas puntuales

3.2.1.5.1 Variación en los desplazamientos

La influencia de la carga en las diferentes situaciones se aprecia en las flechas de los nodos 3 y 7 de la sección central.

En la Tabla 3.6 se representan los desplazamientos (m) de los nodos 3 y 7 para las diferentes cargas. El signo positivo se toma en la dirección global de los ejes cartesianos.

NODO	CARGA	DY	DZ
3	1	0.000463	-0.009730
7		0.000345	-0.004747
3	2	0.000273	-0.009695
7		0.000183	-0.004686
3	3	0.000066	-0.009694
7		0.000014	-0.004634
3	4	-0.000037	-0.008860
7		-0.000056	-0.005387
3	5	0.000005	-0.007103
7		0.000005	-0.007103

Tabla 3.6 - Desplazamiento de los nodos 3 y 7 en la sección central (m)

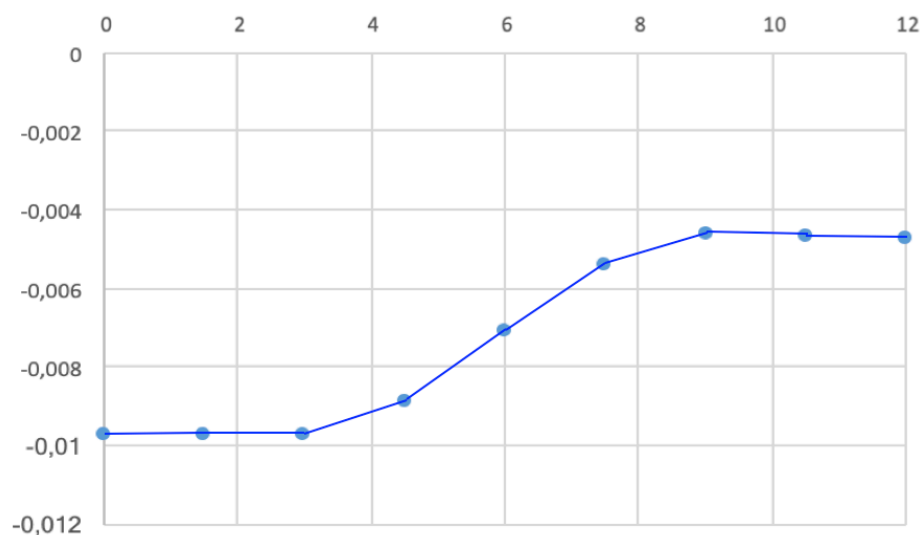


Figura 3.72 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

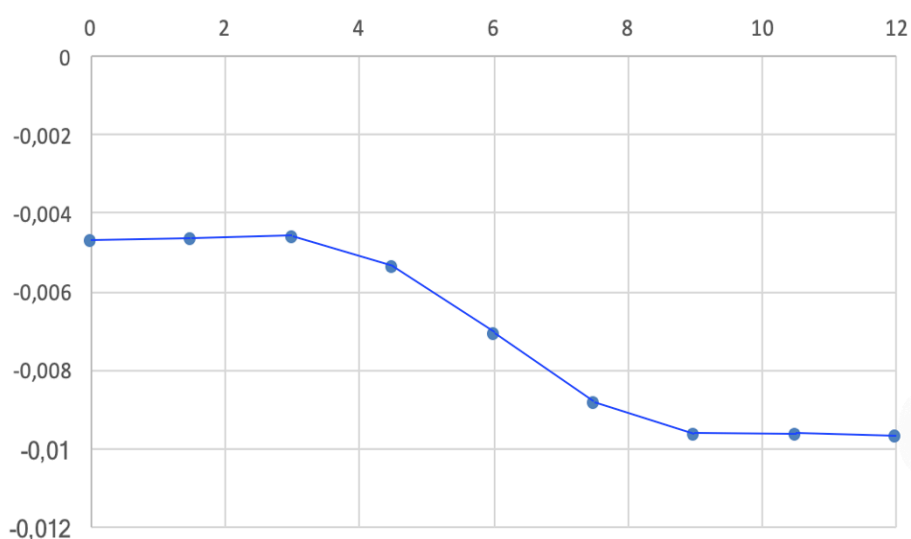


Figura 3.73 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Han sido representada en las anteriores figuras las flechas en los nodos 3 y 7 cuando la carga puntual de 1000 kN se sitúa en los diferentes nodos en el eje 'y'.

Los desplazamientos presentan una forma similar al caso anterior de la viga de 40 metros, aunque existe una gran diferencia en los valores; siendo mucho menores en la viga cajón de 100 metros de longitud, hasta tal punto que el valor máximo del modelo 1 es el valor mínimo del modelo 4.

3.2.1.5.2 Variación de la distorsión

Se presenta como cambia la distorsión según la posición de la carga puntual en la sección central, ya que es la más desfavorable.

Carga	Distorsión (rad)
1	0.001071
2	0.000812
3	0.000830
4	0.000571
5	0.000000

Tabla 3.7 - Distorsión sección central

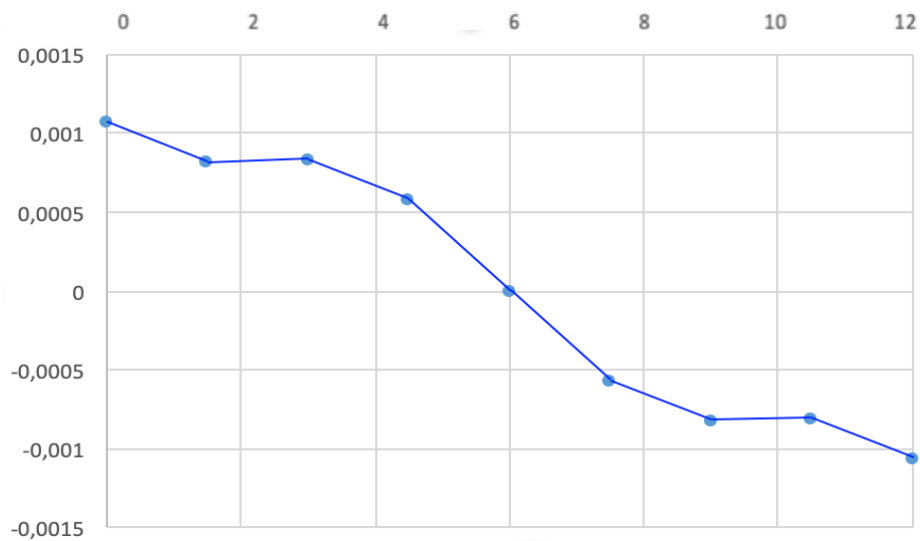


Figura 3.74 - Distorsión en la sección central

El mayor valor de la distorsión se presenta cuando se dispone la carga en el ala de la sección, los valores son menores que en el caso de la viga de 40 m de longitud; y en el centro vuelve a ser cero por la condición de simetría.

3.2.1.5.3 Variación en las tensiones

Análogamente al estudio realizado para el modelo de 40 metros de longitud, se muestran en la Figura 3.75, las secciones de interés para el estudio de las tensiones y esfuerzos.

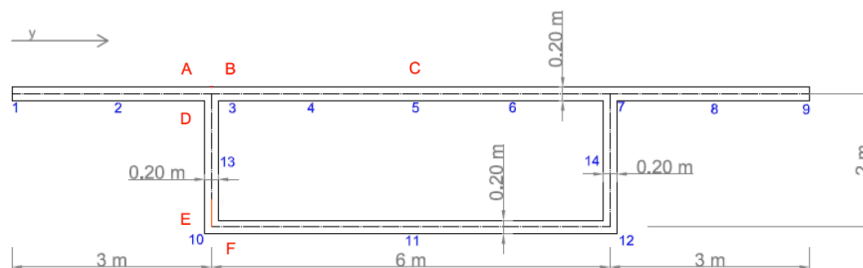


Figura 3.75 - Puntos significativos

Se representan las distribuciones de tensiones para los nodos 3 y 10 para distintas posiciones de la carga a lo largo de la sección en el eje 'y'. Los valores vienen expresados en kN/m².

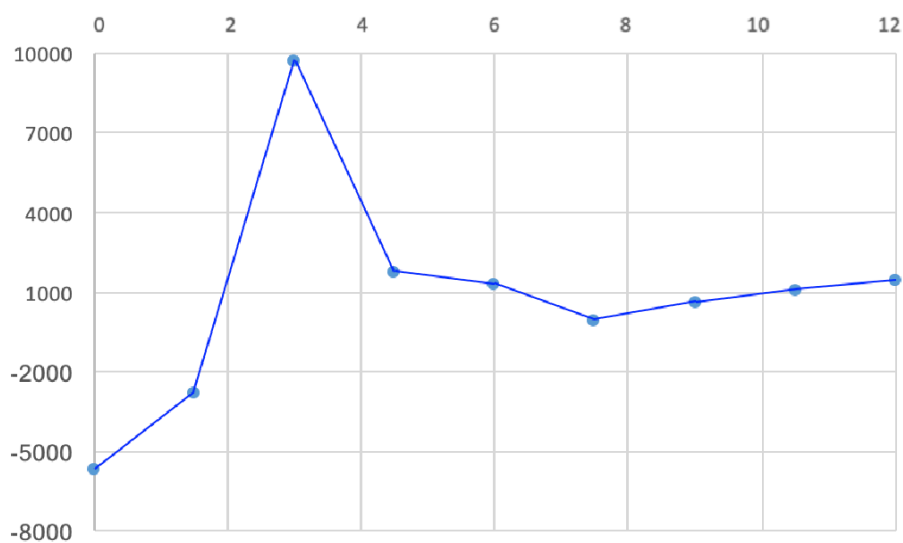


Figura 3.76 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

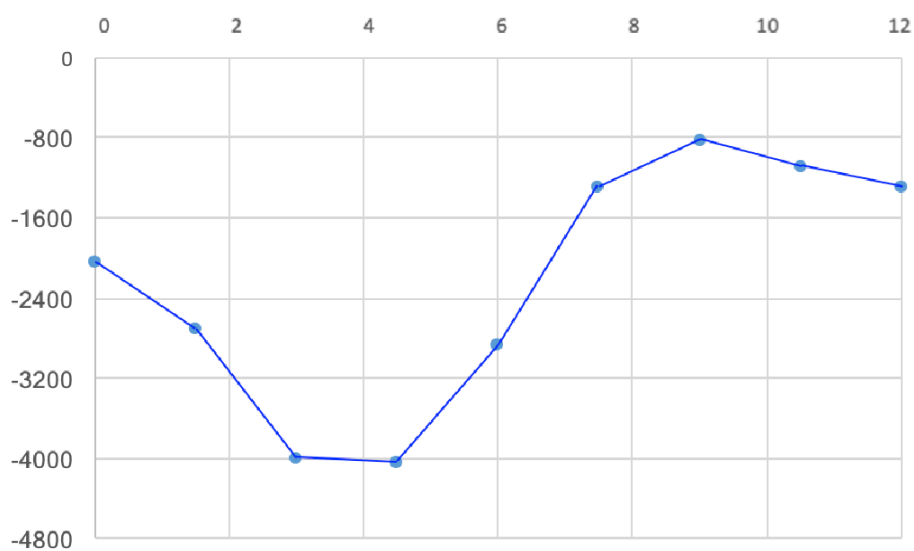


Figura 3.77 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

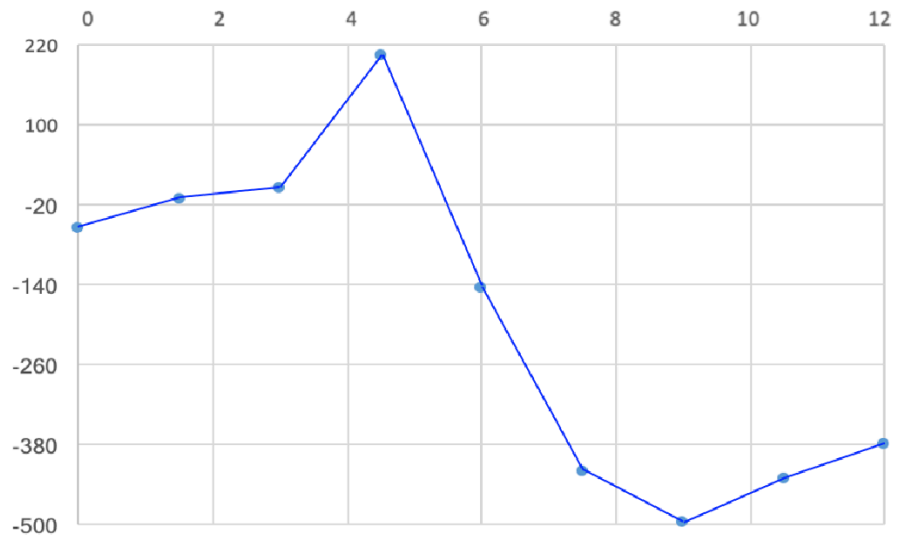


Figura 3.78 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 en la sección $x = 37.5$ m

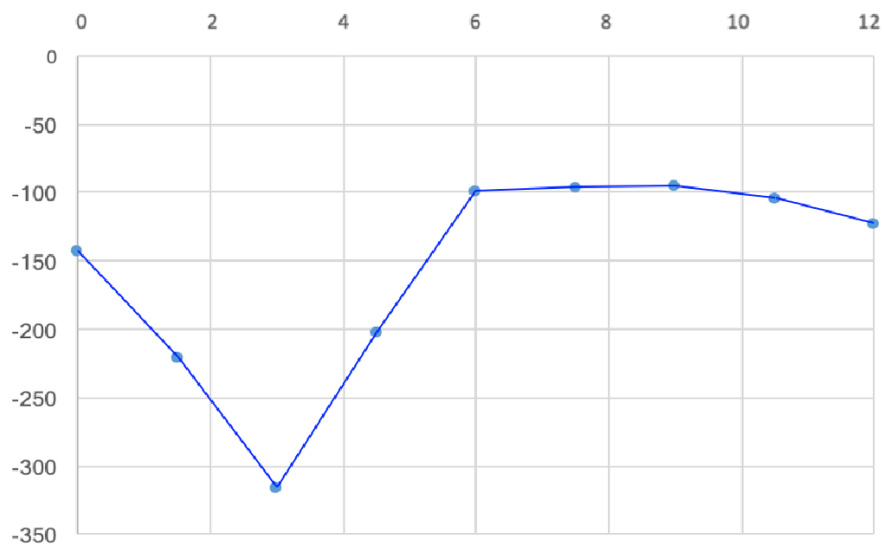


Figura 3.79 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 en la sección $x = 37.5$ m

Comparando ambos modelos, existe una aproximación en la línea de tendencia de las tensiones, aunque los valores son considerablemente menores en el modelo de 100 m de longitud.

3.2.1.5.4 Variación en los esfuerzos

Se realiza el estudio de la influencia de la situación de la carga tras el cambio transversal de posición en los momentos flectores y esfuerzos cortantes en los nodos de mayor relevancia: nodos 3, 5 y 10. Los esfuerzos están expresados en kN.m/m.

- Momentos flectores

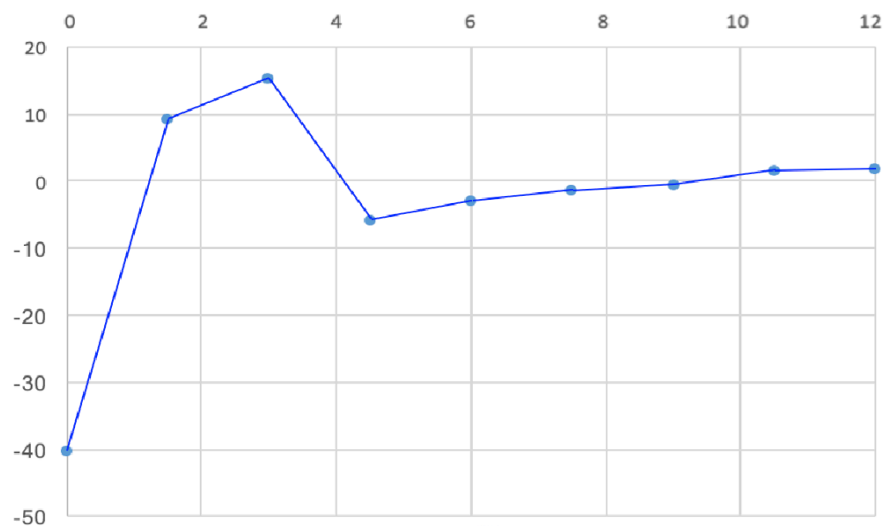


Figura 3.80 - My sección A

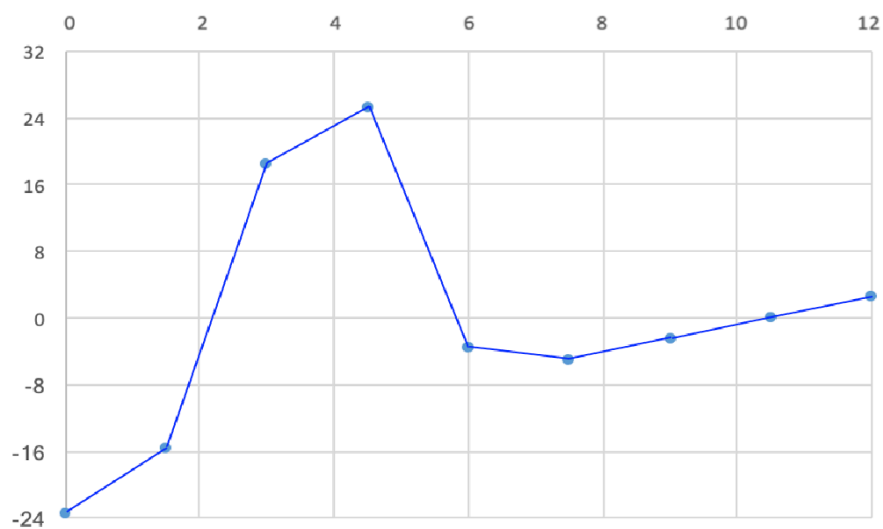


Figura 3.81 - My sección B

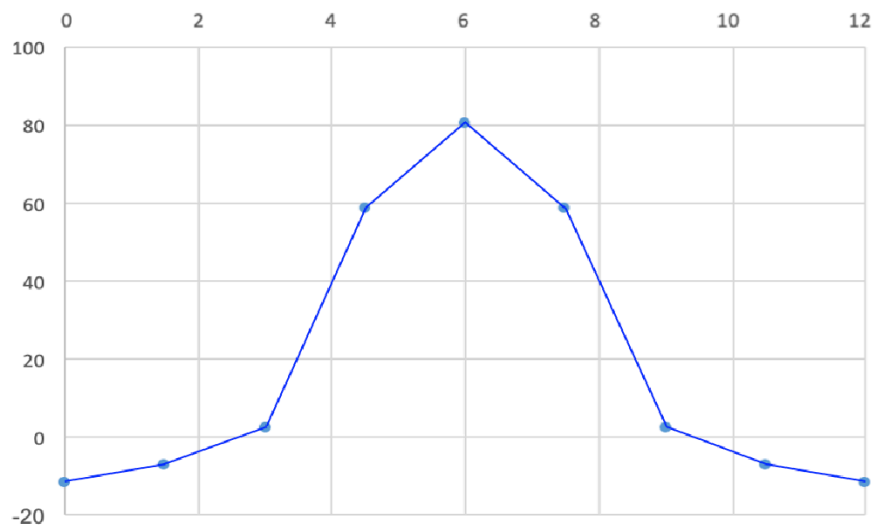


Figura 3.82 - My sección C

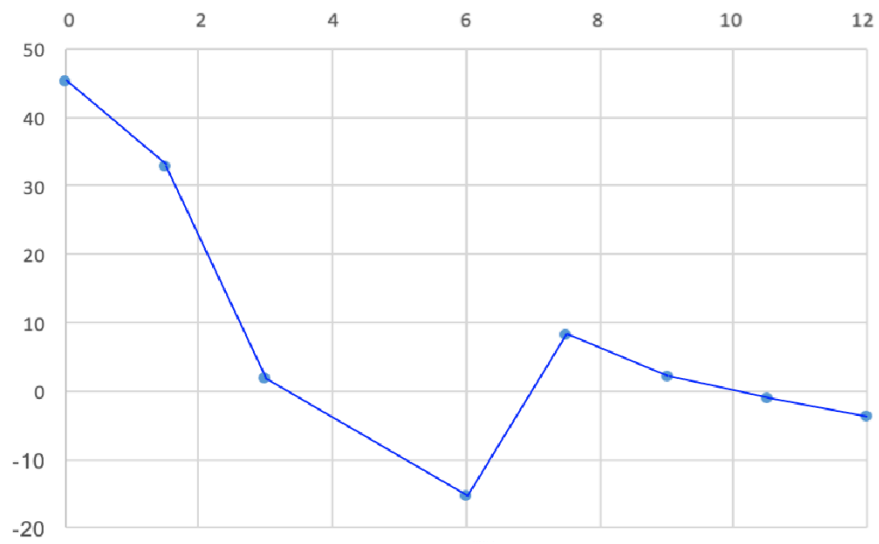


Figura 3.83 - My sección D

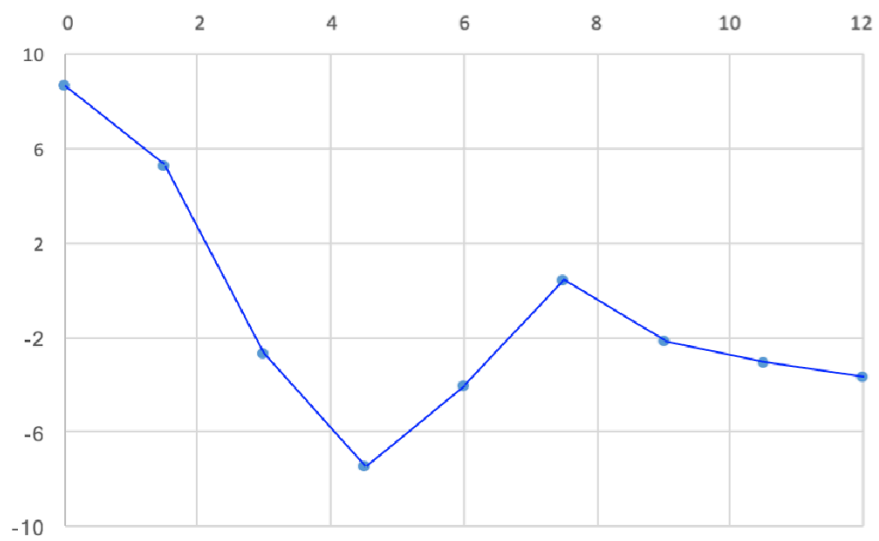


Figura 3.84 - My sección E

Los valores obtenidos para el modelo de 100 m son similares al modelo de 40 m. Existe, también, una diferencia notoria entre los valores de la sección D y E del alma que nos indica que es conveniente dimensionar el alma con espesor variable, siendo mayor el espesor en la zona superior.

Al final, el espesor del alma se dimensiona con el cortante, y este comentario no es relevante.

- Esfuerzos axiales

Se presentan los resultados en las secciones A, B, C y F de la Figura 3.75. Los valores son superiores cuando la carga está aplicada sobre el alma.

Los esfuerzos axiales obtenidos de este modelo son similares al caso anterior.

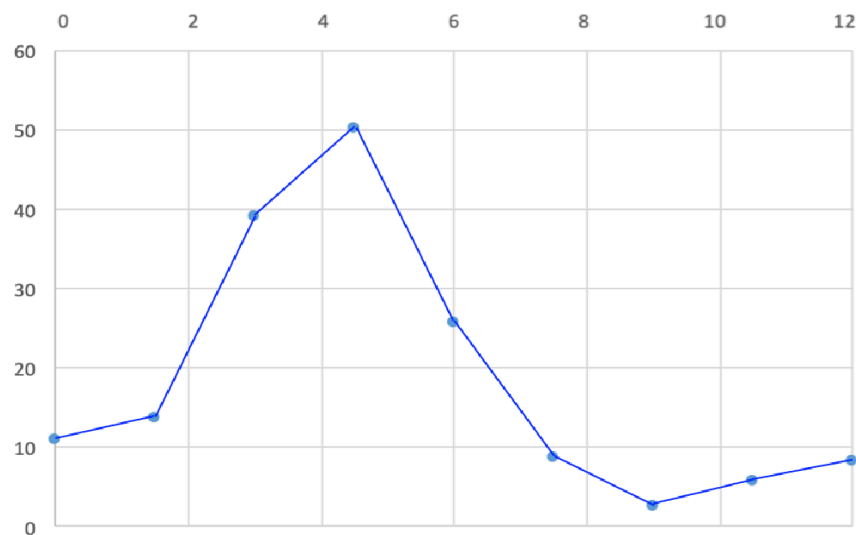


Figura 3.85 - Ny sección A

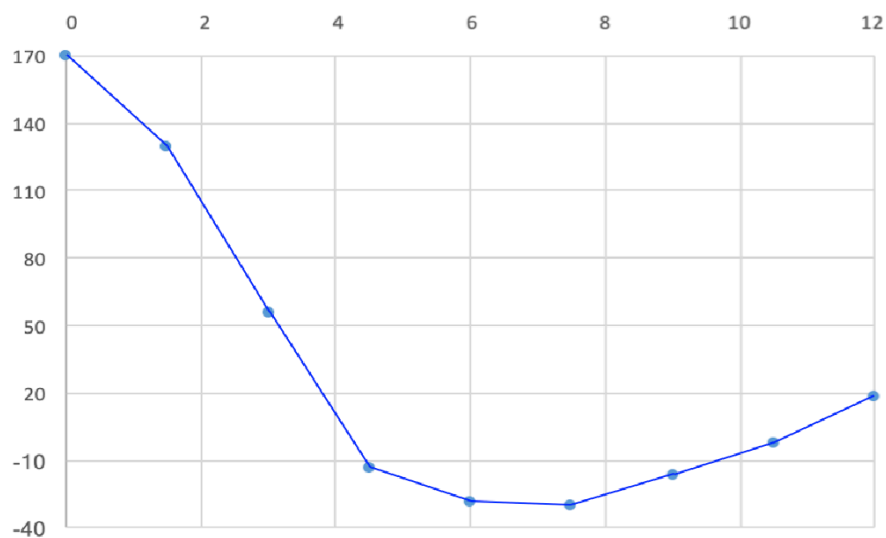


Figura 3.86 - Ny sección B

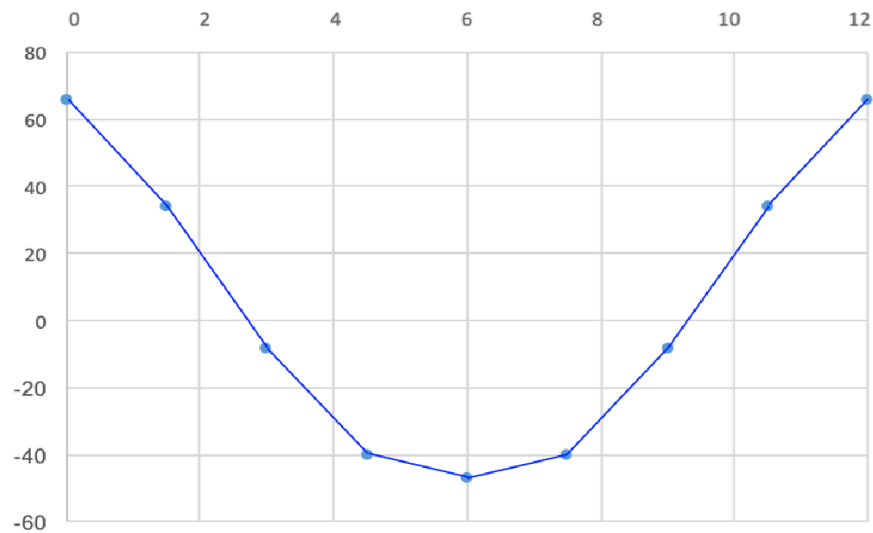


Figura 3.87 - Ny sección C

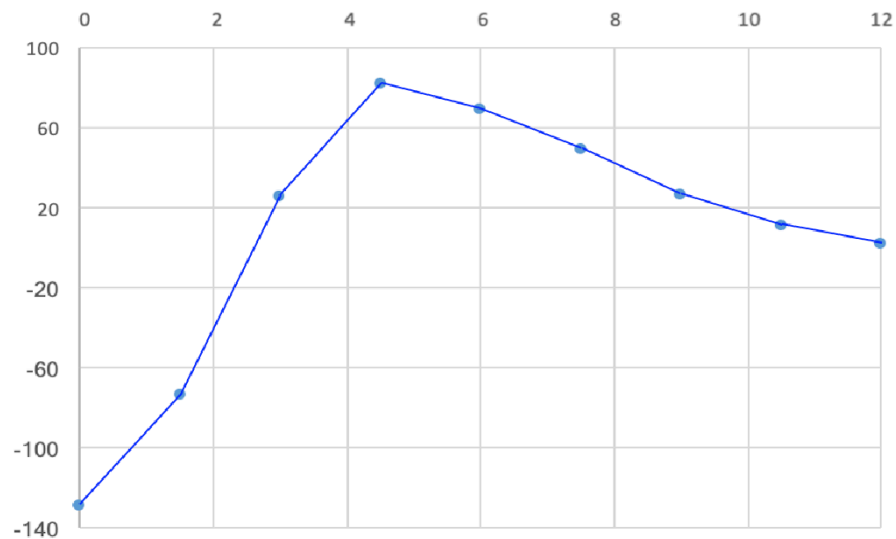


Figura 3.88 - Ny sección F

3.2.2 Respuesta ante cargas distribuidas.

Para el estudio de las cargas distribuidas de la viga cajón de 100 m, se situarán de la misma forma que se realizó el estudio para el modelo de 40 m, con 4 kN/m^2 con el esquema que aparece en la Figura 3.89.

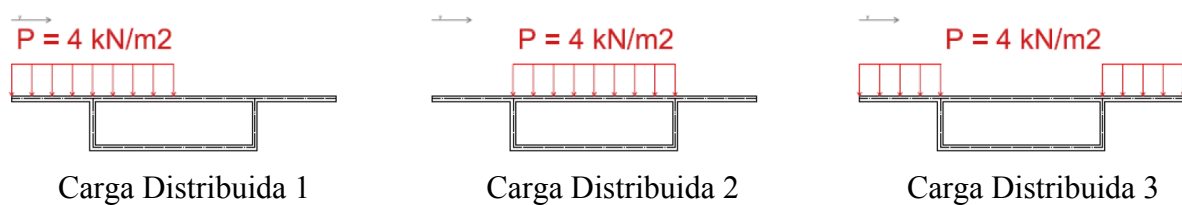
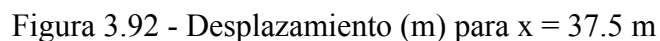
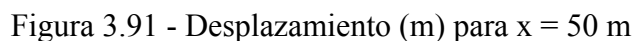
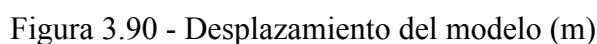


Figura 3.89 - Modelos de cargas distribuidas

Los desplazamientos más relevantes son producidos por la carga distribuida 1, debido a que, el resto de cargas distribuidas al ser simétricas, provocarán una distorsión nula, ocasionando únicamente deformaciones longitudinales. Además, la carga distribuida 1 produce momentos flectores y torsores.



De la relación entre el desplazamiento máximo de la carga distribuida 1 para el modelo de 40 m y de 100 m, ambos con almas rectas, obtenemos que el desplazamiento máximo del modelo de mayor tamaño es aproximadamente la mitad.

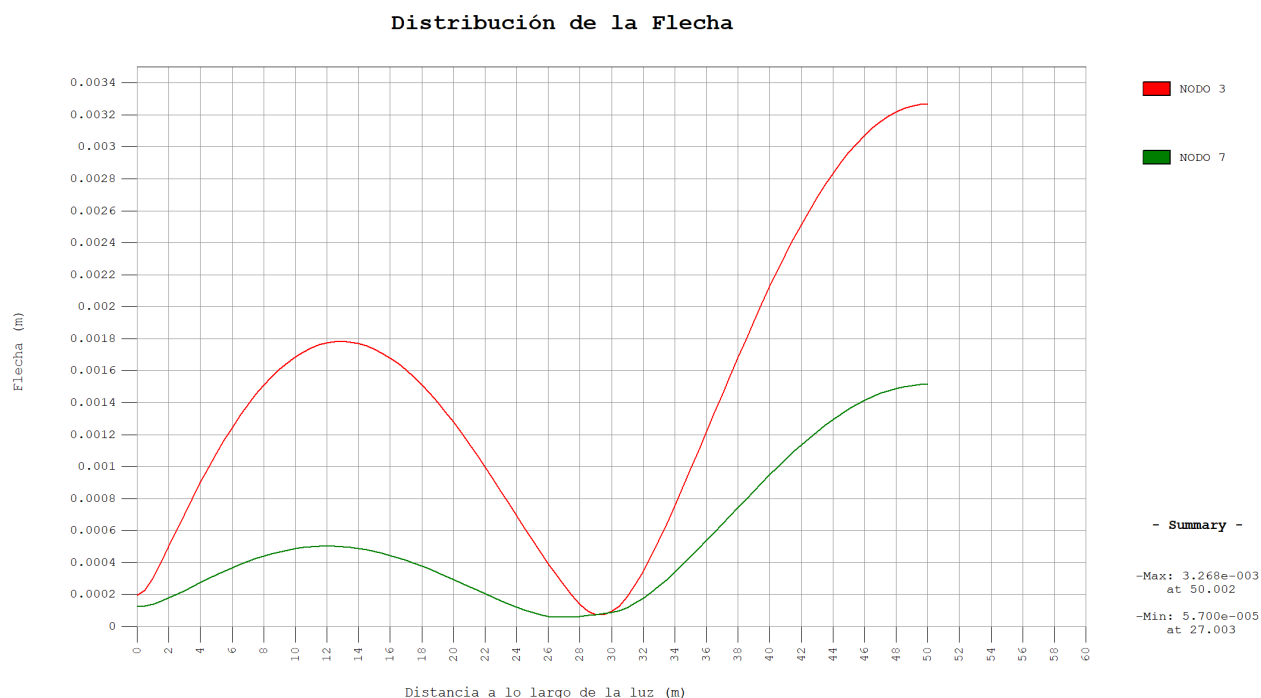


Figura 3.93 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

En cuanto a la distribución de flecha, comparando ambos modelos para carga distribuida 1, podemos observar que el modelo de 100 m proporciona flechas considerablemente menores, como pudimos afirmar, también, en las Figuras 3.91 y 3.92; siendo siempre la flecha en el nodo 3 considerablemente mayor, debido a que en el ala izquierda de la losa superior es donde se situa la carga distribuida 1.

3.2.2.2 Distorsión

Se estudia la distorsión debida a la carga distribuida 1 ya que presenya mayor interés, el resto son simétricas.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12.5	0.00144	0.00003	0.00963	0.00017	0.00717	0.00013	-0.00221	-0.00004	0.00002
25	0.00149	0.00003	0.00428	0.00008	0.00342	0.00006	-0.00123	-0.00002	0.00004
37.5	0.00329	0.00006	0.00802	0.00014	0.00665	0.00012	-0.00339	-0.00005	0.00014
40	0.00388	0.00007	0.01020	0.00018	0.00838	0.00015	-0.00429	-0.00008	0.00016
42.5	0.00437	0.00008	0.00087	0.00002	0.00970	0.00017	-0.00159	-0.00003	0.00019
45	0.00475	0.00008	0.01298	0.00023	0.01064	0.00019	-0.00555	-0.00010	0.00022
47.5	0.00499	0.00009	0.01362	0.00024	0.01117	0.00020	-0.00588	-0.00010	0.00025
50	0.00510	0.00009	0.01385	0.00024	0.01136	0.00020	-0.00601	-0.00011	0.00028

Tabla 3.8 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

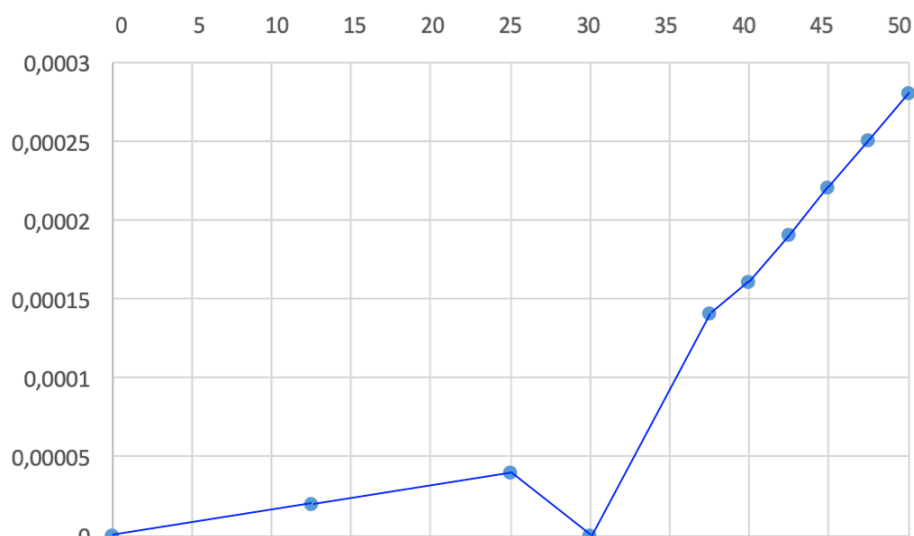


Figura 3.94 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

La distribución de distorsión que se produce bajo la carga distribuida 1 es del orden del 20% de la distorsión que provoca la aplicación de la carga puntual en la viga de 100 m de longitud.

Comparando la viga de 100 m de longitud bajo carga distribuida con la viga de 40 m de longitud bajo la acción de la misma carga, el modelo de mayor longitud presenta una distorsión considerablemente menor.

3.2.2.3 Tensiones

3.2.2.3.1 Tensiones longitudinales

La aplicación de las cargas distribuidas 1, 2 y 3 dan lugar a las siguientes distribuciones de tensiones longitudinales.

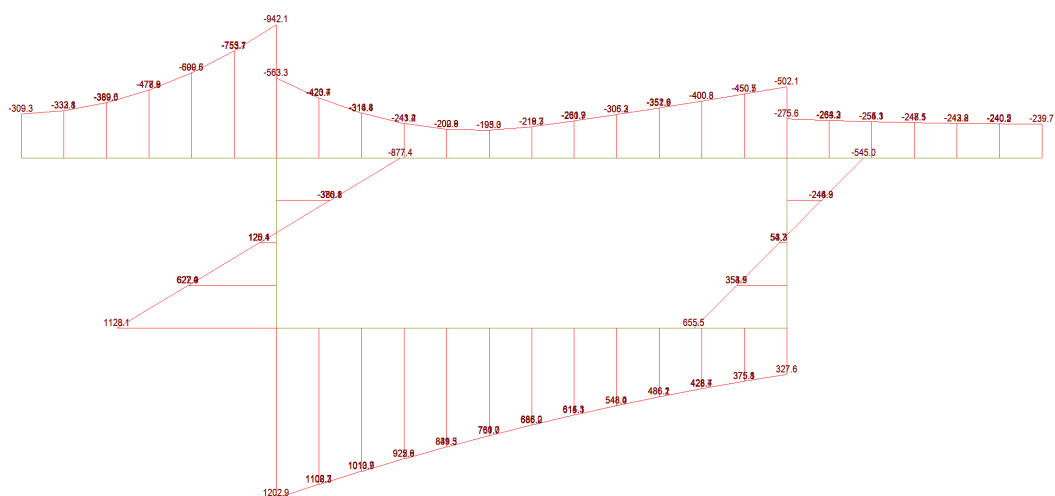


Figura 3.95 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz (x = 50 m)

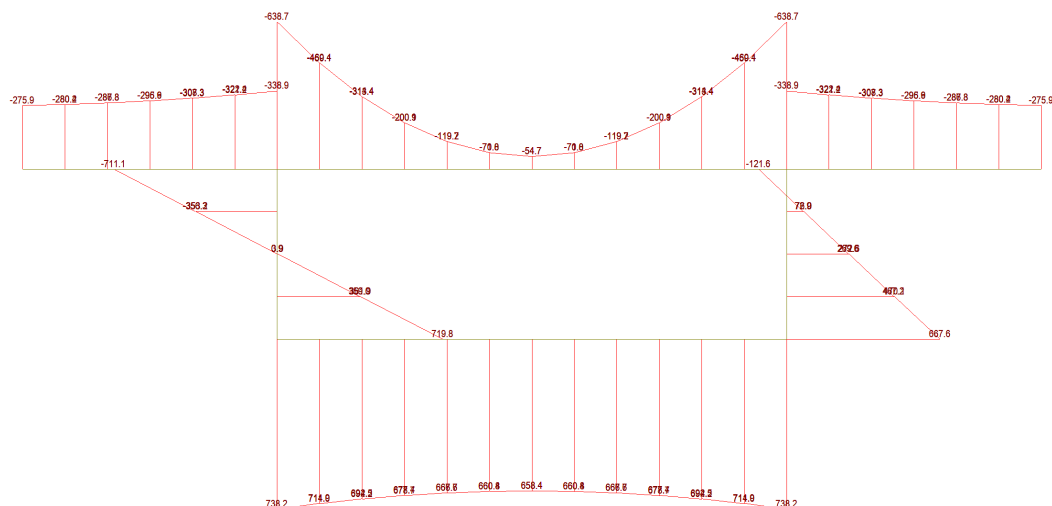


Figura 3.96 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz ($x = 50$ m)

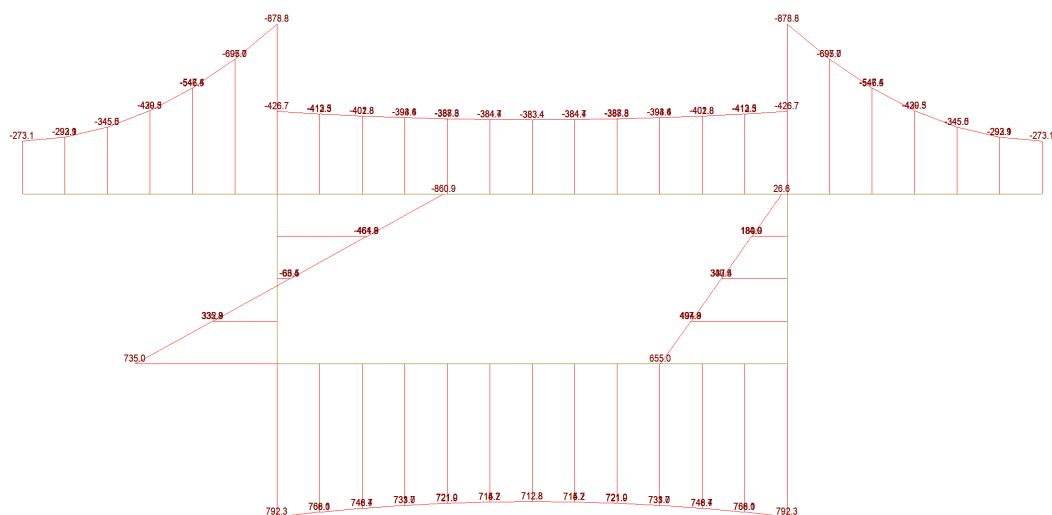


Figura 3.97 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz ($x = 50$ m)

Las figuras 3.95 y 3.96, muestran que, al no existir concentración de cortantes, además de ser la distorsión muy pequeña, presenta una distribución de tensiones longitudinales con leyes lineales en almas y cuadráticas, que se asemejan a la teoría de Resistencia de Materiales. Los valores y formas de la Figura 3.44 se alejan de la teoría de Resistencia de Materiales debido al efecto local de la carga puntual.

Las tensiones longitudinales bajo cargas distribuidas son menores en el modelo de 100 m de longitud.

3.2.2.3.2 Tensiones tangenciales

Las tensiones tangenciales antes cargas distribuidas son menores que las obtenidas bajo la acción de una carga puntual, ya que se produce una redistribución de la concentración de cargas.

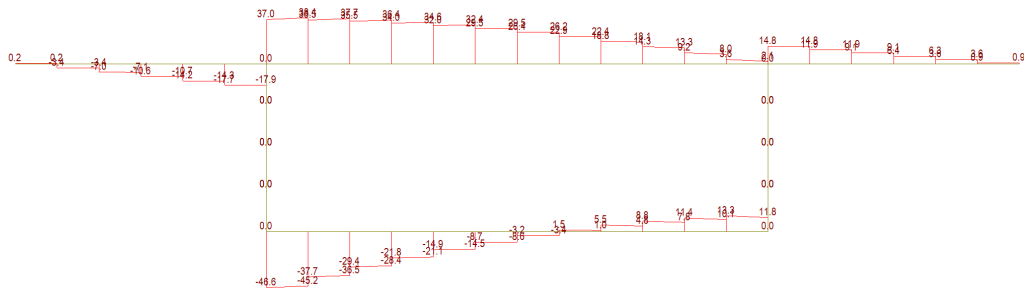


Figura 3.98 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 48.75$ m

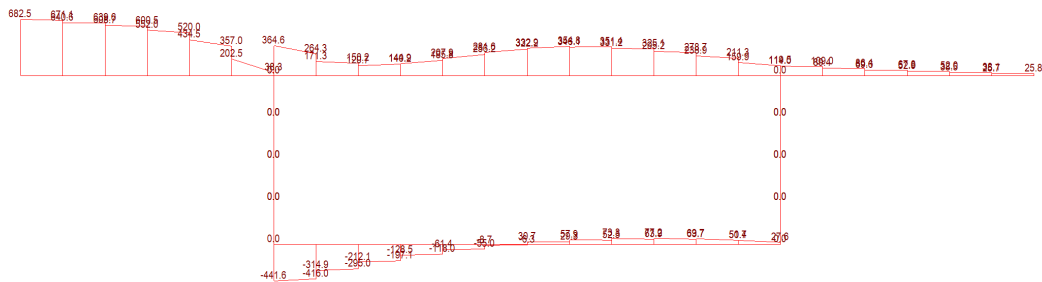


Figura 3.99 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0$ m

Las tensiones tangenciales máximas se encuentran en el apoyo del puente, tal como se muestra en la Figura 3.99, aunque son menores a los obtenidos bajo carga puntual.

3.2.2.4 Esfuerzos

3.2.2.4.1 Momentos flectores transversales

Las tres cargas distribuidas dan lugar a una distribución de momentos flectores M_y que se representa en las siguientes figuras en la sección $x = 50$ m y $x = 37.5$ m. Serán estudiados los nodos 3, 7, 10 y 12 de la sección para las tres cargas distribuidas a lo largo de la longitud de la viga cajón.

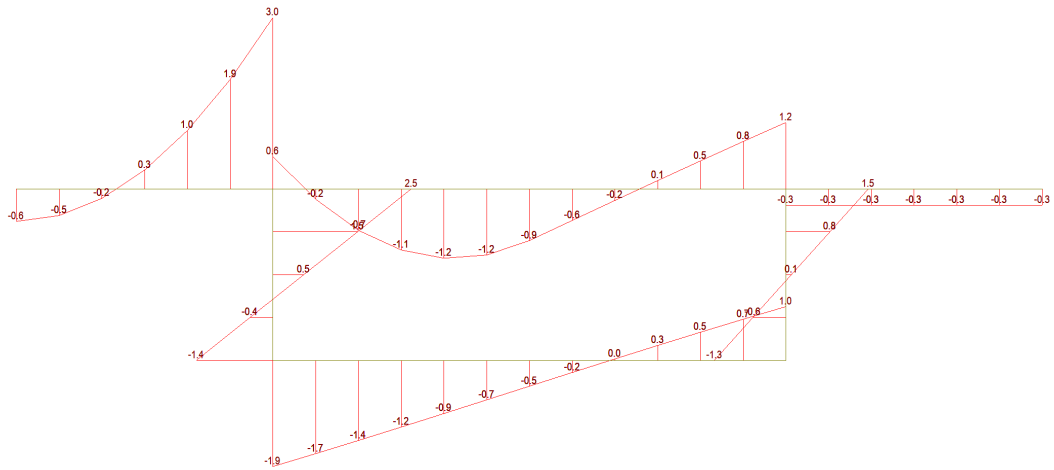


Figura 3.100 - Momento Flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central para C. Dist. 1

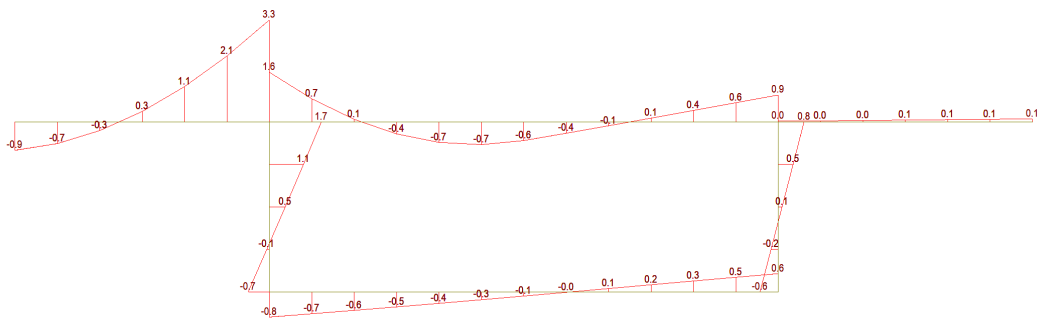


Figura 3.101 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección $x = 37.5$ m para C. Dist. 1

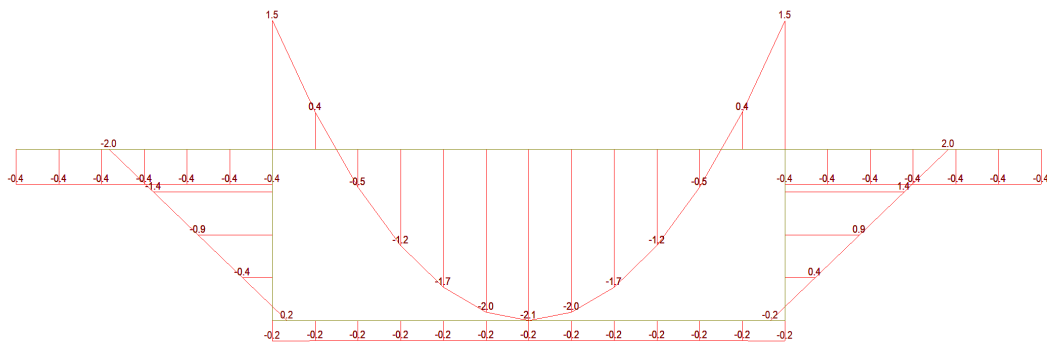


Figura 3.102 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección central para C. Dist. 2

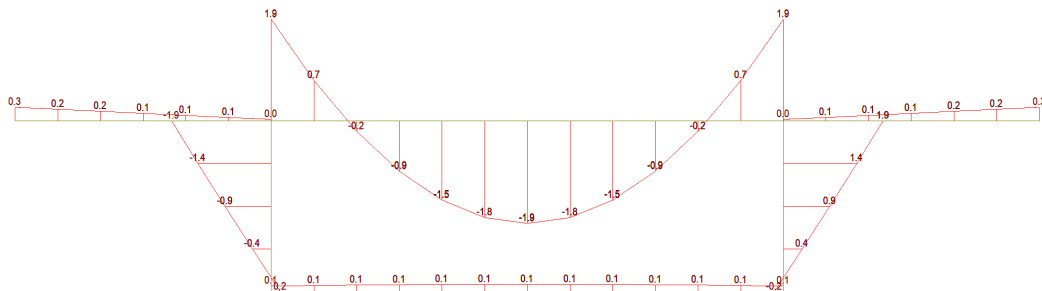


Figura 3.103 - Momento flector M_y ($\text{kN}\cdot\text{m/m}$) en la sección $x = 37.5$ m para C. Dist. 2

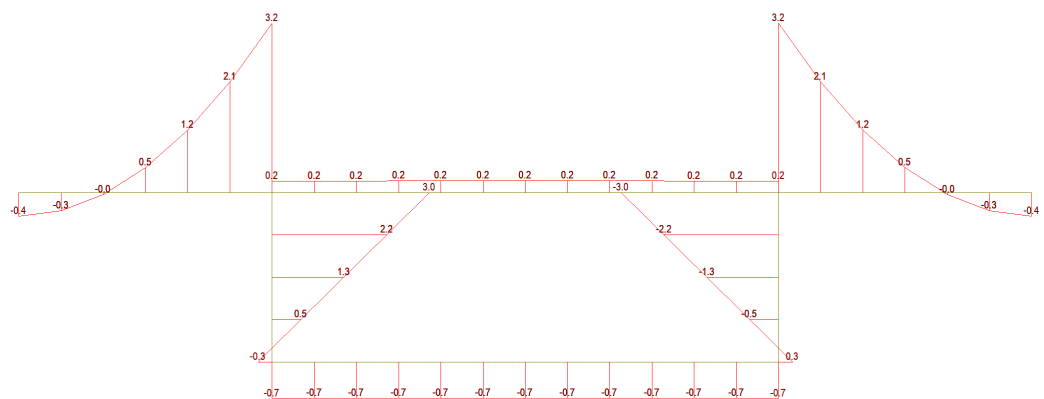


Figura 3.104 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección central para C. Dist. 3

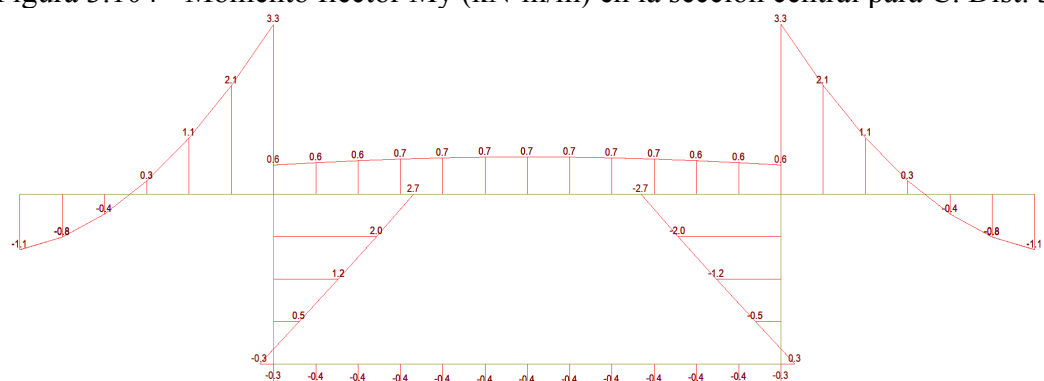


Figura 3.105 - Momento flector M_y (kN·m/m) en la sección $x = 37.5$ m para C. Dist. 3

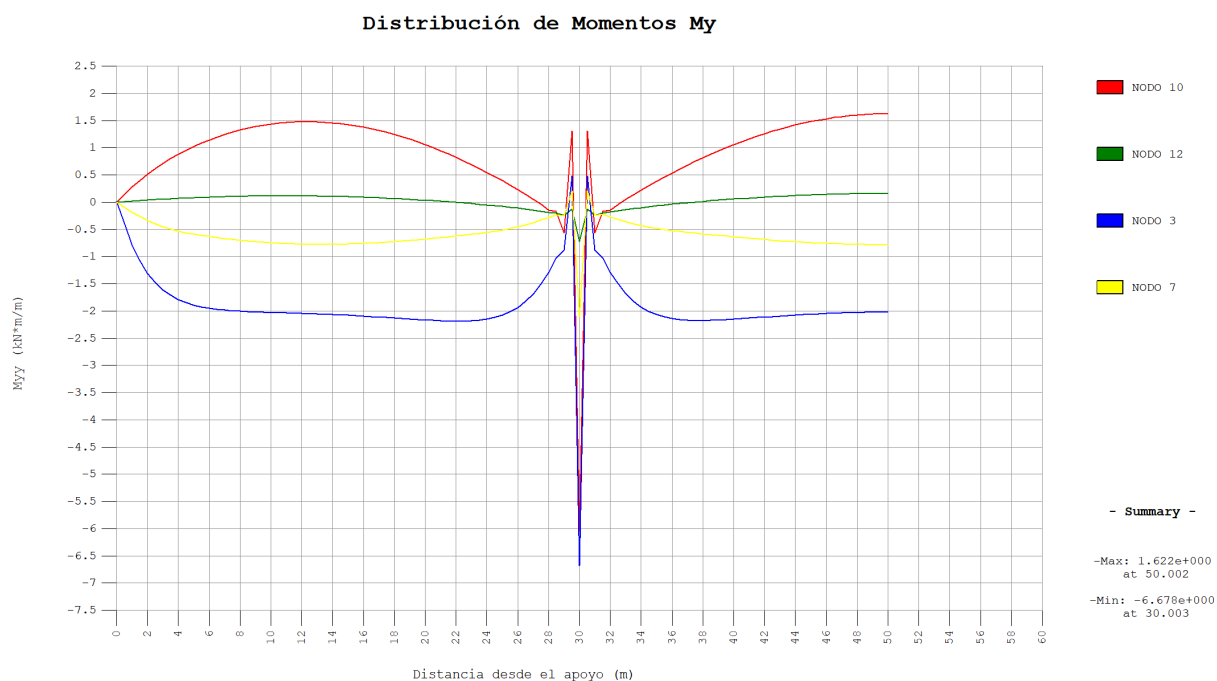


Figura 3.106 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) para C. Dist. 1

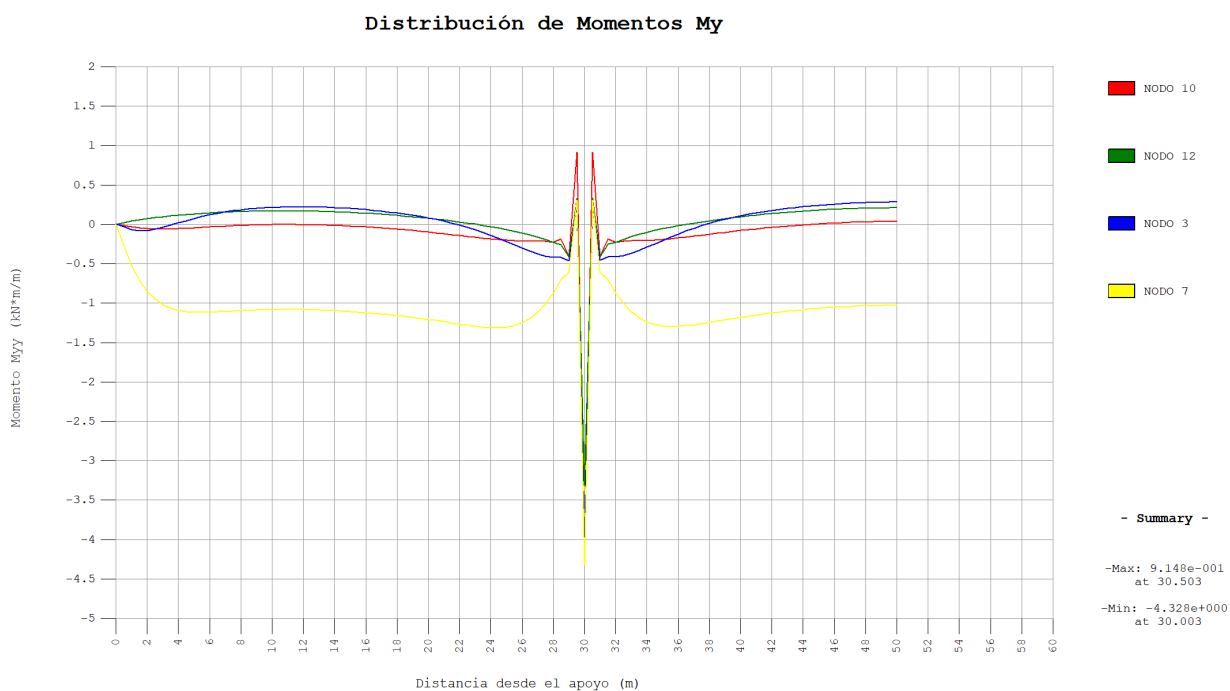


Figura 3.107 - Distribución del Momento flector My (kN.m/m) para C. Dist. 2

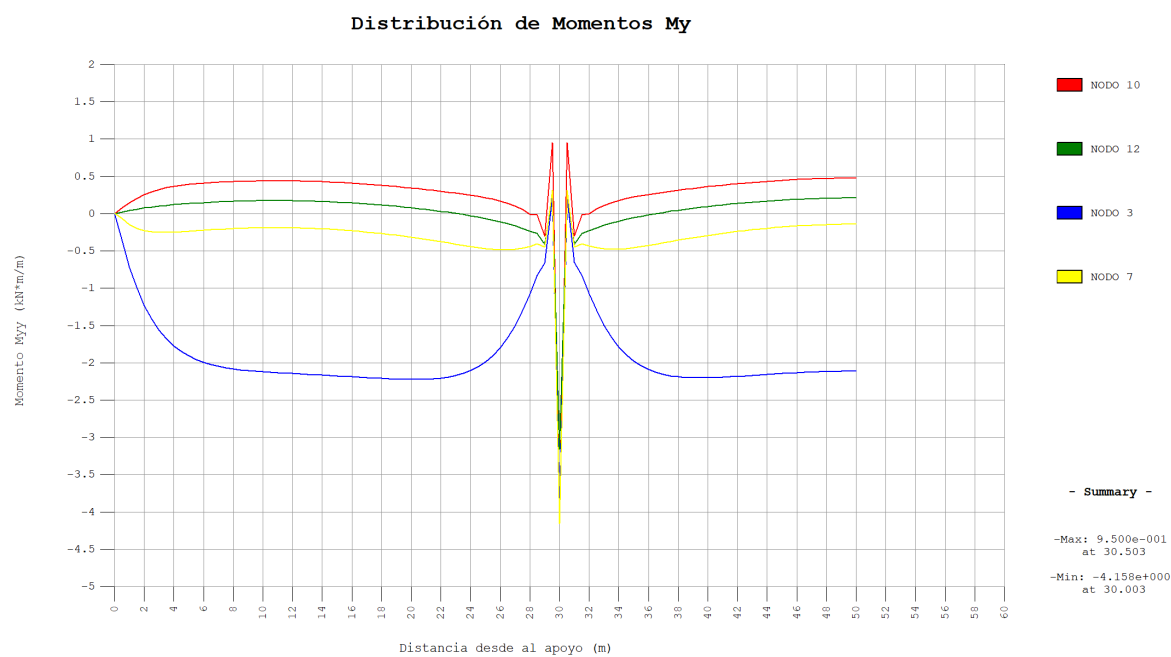


Figura 3.108 - Distribución del Momento flector My (kN.m/m) para C. Dist. 3

La perturbación que aparece en la distribución del momento flector a lo largo de la luz se debe al apoyo que se encuentra en $x = 30$ m.

3.2.2.4.2 Esfuerzos cortantes

Se muestran los esfuerzos cortantes en la sección del apoyo $x = 0$ m bajo la carga distribuida 1, ya que muestran los valores máximos, el resto de secciones y cargas tienen valores aun más bajos.

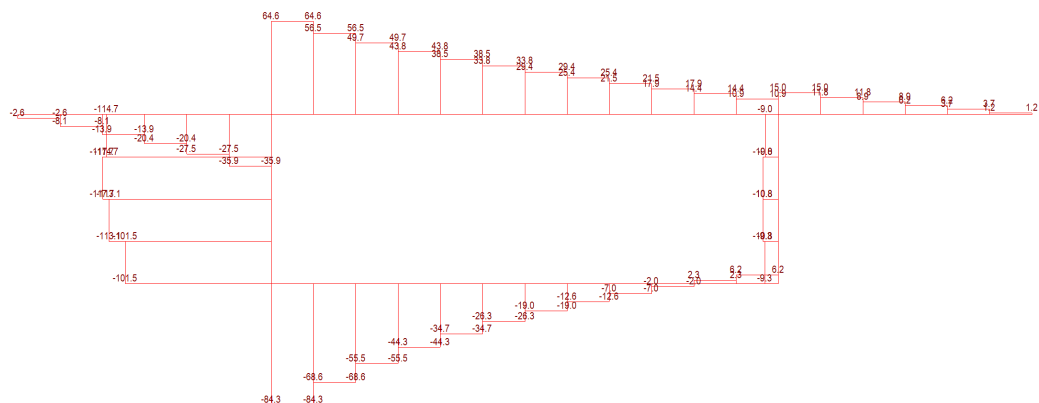


Figura 3.109 - Distribución del Cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0$ m) para C. Dist. 1

3.3 Comportamiento de la viga cajón de 40 m de longitud con almas inclinadas.

Para el estudio de la sección en cajón con almas inclinadas, será analizada la sección que aparece en la siguiente Figura 3.110. Bajo el cambio de inclinación respecto a los modelos anteriores, podremos observar como afecta este parámetro en cuanto a desplazamientos, distorsiones, tensiones y esfuerzos.

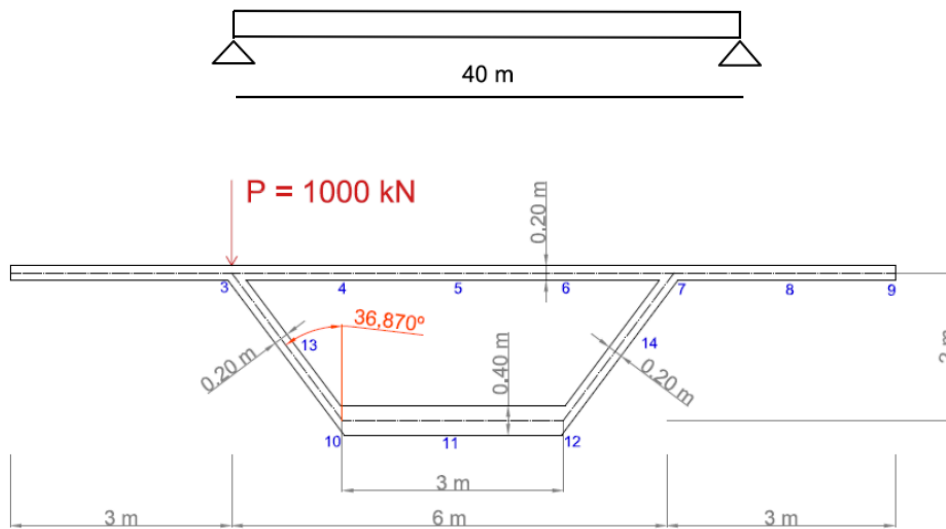


Figura 3.110 - Geometría

3.3.1 Respuesta ante cargas puntuales

Como en el caso de almas rectas, se procede al estudio de la carga puntual en el nodo 3 con idéntico valor, 1000 kN.

3.3.1.1 Desplazamientos

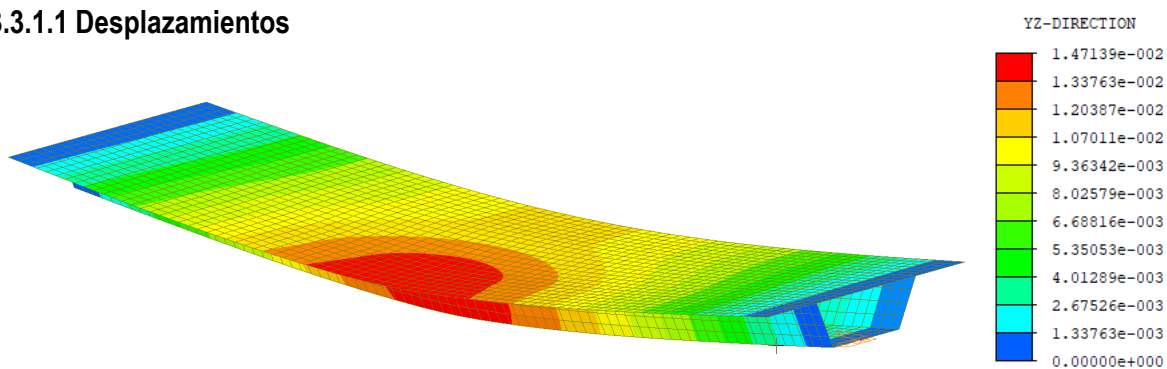


Figura 3.111 - Desplazamiento del modelo (m)

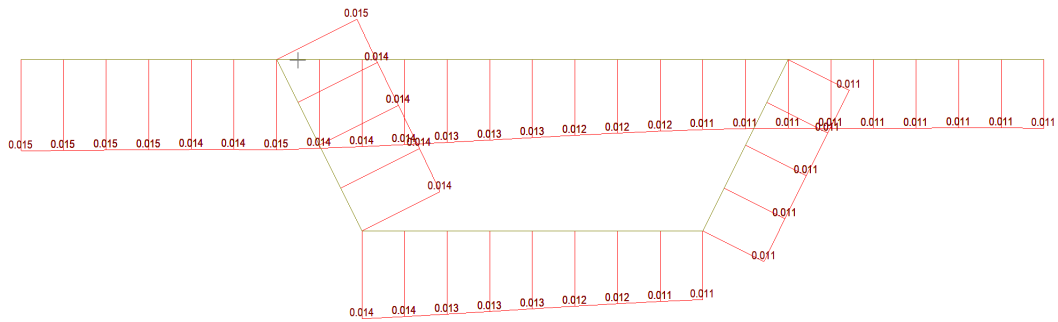


Figura 3.112 - Desplazamiento (m) para $x = 20$ m.

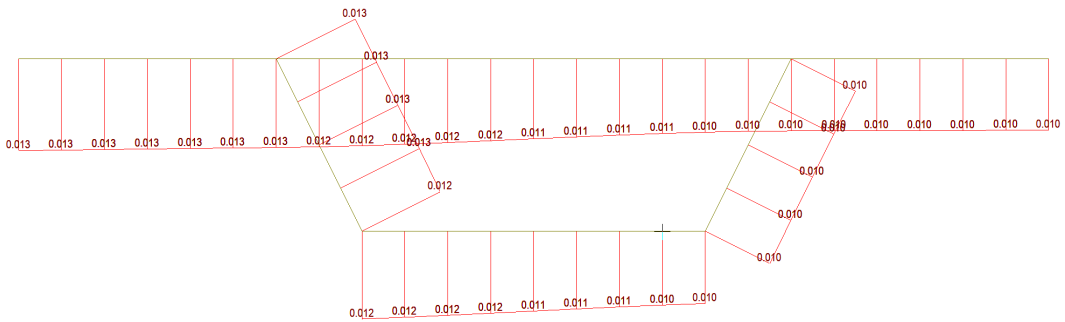


Figura 3.113 - Desplazamiento (m) para $x = 15$ m

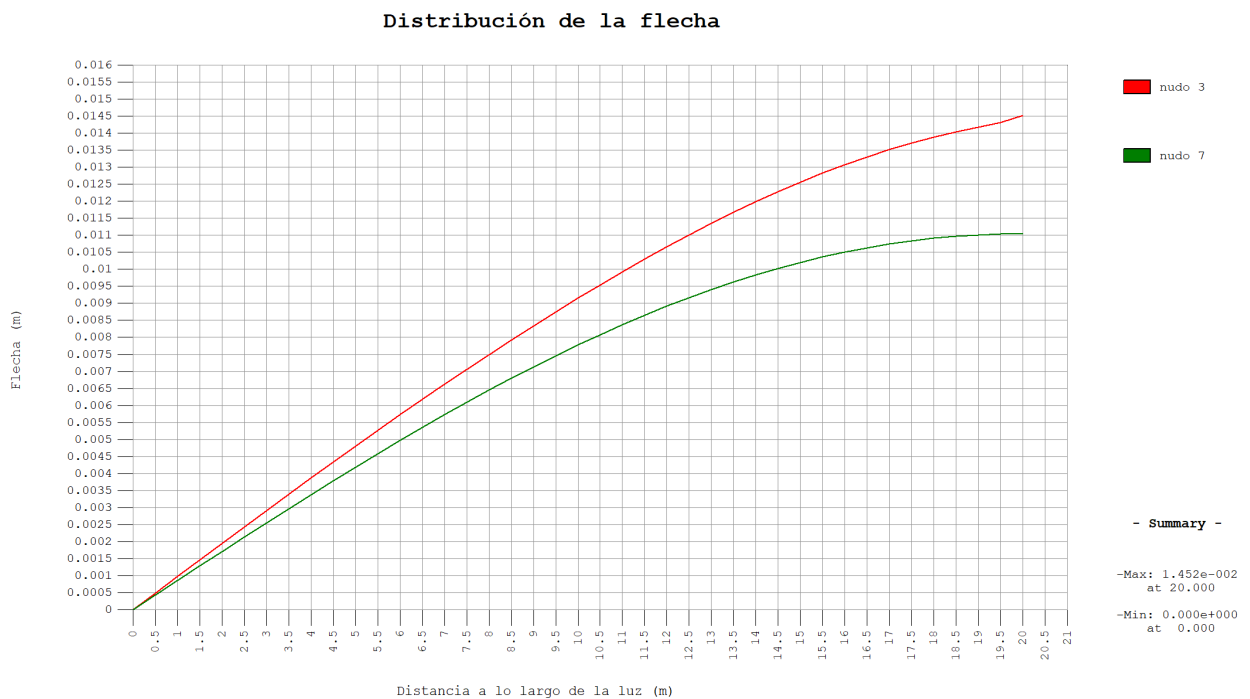


Figura 3.114 - Distribución de la flecha a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Comparando los desplazamientos obtenidos en los modelos de 40 m de longitud, tanto con almas rectas, como inclinadas, bajo la acción de la carga puntual podemos afirmar que los desplazamientos son similares.

La inercia a flexión de ambos modelos es idéntica.

3.3.1.2 Distorsión

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00623	0.00011	0.00626	0.00011	0.00598	0.00011	0.00517	0.00009	0.00021
10	0.01123	0.00020	0.01501	0.00026	0.01259	0.00022	0.00912	0.00016	0.00042
15	0.01369	0.00024	0.02911	0.00051	0.02056	0.00036	0.01024	0.00018	0.00064
16	0.01388	0.00024	0.03260	0.00057	0.02233	0.00039	0.01008	0.00018	0.00069
17	0.01405	0.00025	0.03619	0.00063	0.02410	0.00042	0.00980	0.00017	0.00073
18	0.01429	0.00025	0.03969	0.00069	0.02586	0.00045	0.00952	0.00017	0.00078
19	0.01532	0.00027	0.04248	0.00074	0.02772	0.00048	0.00931	0.00016	0.00083
20	0.02069	0.00036	0.04360	0.00076	0.03125	0.00055	0.00919	0.00016	0.00091

Tabla 3.9 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

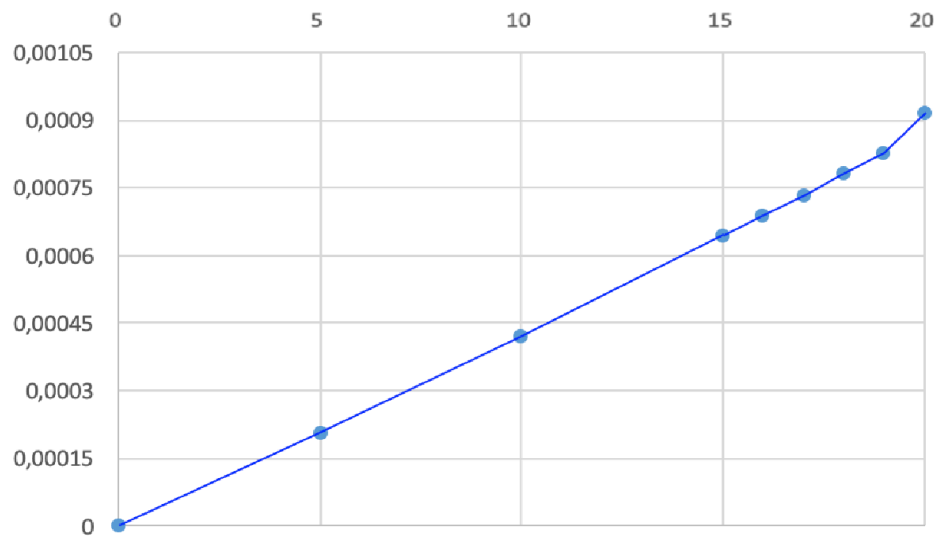


Figura 3.115 - Distribución de la distorsión

Comparando las distorsiones obtenidas en los modelos de 40 m, tanto con almas rectas, como inclinadas, bajo la acción de la carga puntual podemos afirmar que la distorsión en el modelo de 40 m con almas inclinadas es aproximadamente un tercio.

3.3.1.3 Tensiones

3.3.1.3.1 Tensiones longitudinales

En las Figuras 3.116 y 3.117, se muestran las tensiones longitudinales en la sección central del vano y en $x = 15$ m, respectivamente.

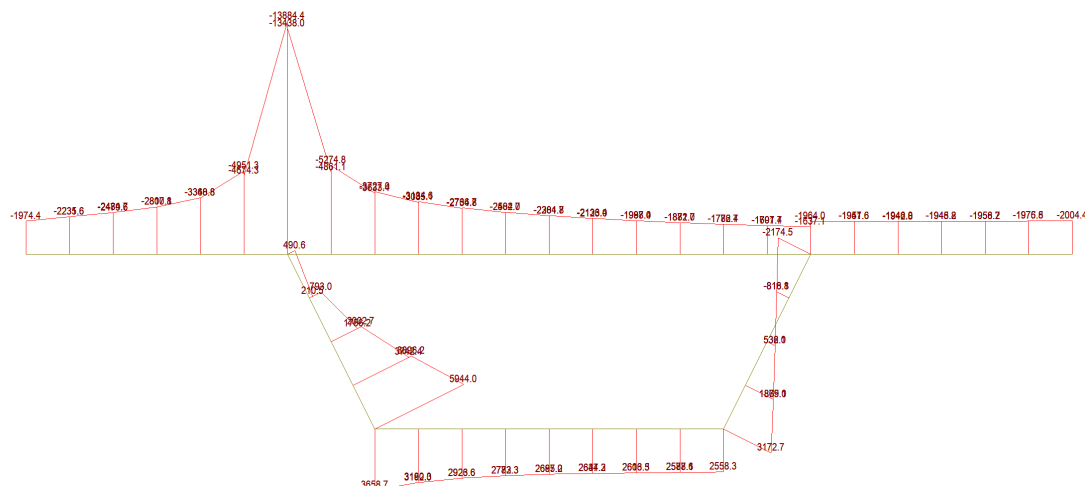


Figura 3.116 - Distribución de σ_{xx} (kN/m^2) en el centro de la luz ($x = 20$ m)

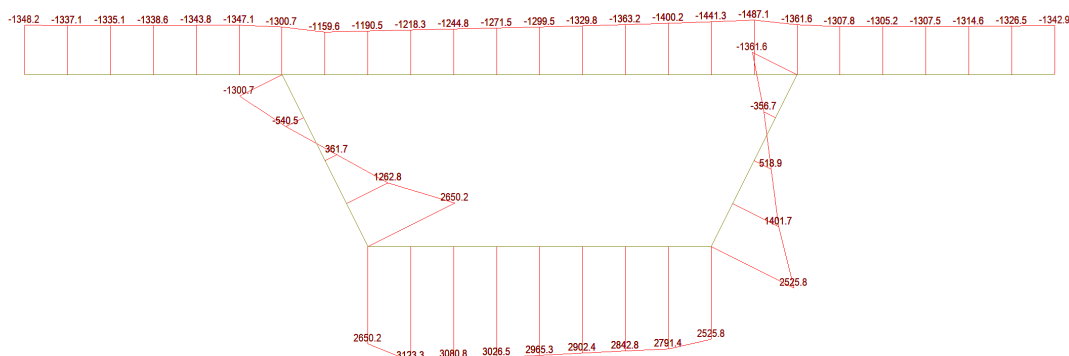


Figura 3.117 - Distribución de σ_{xx} (kN/m^2) en $x = 15$ m

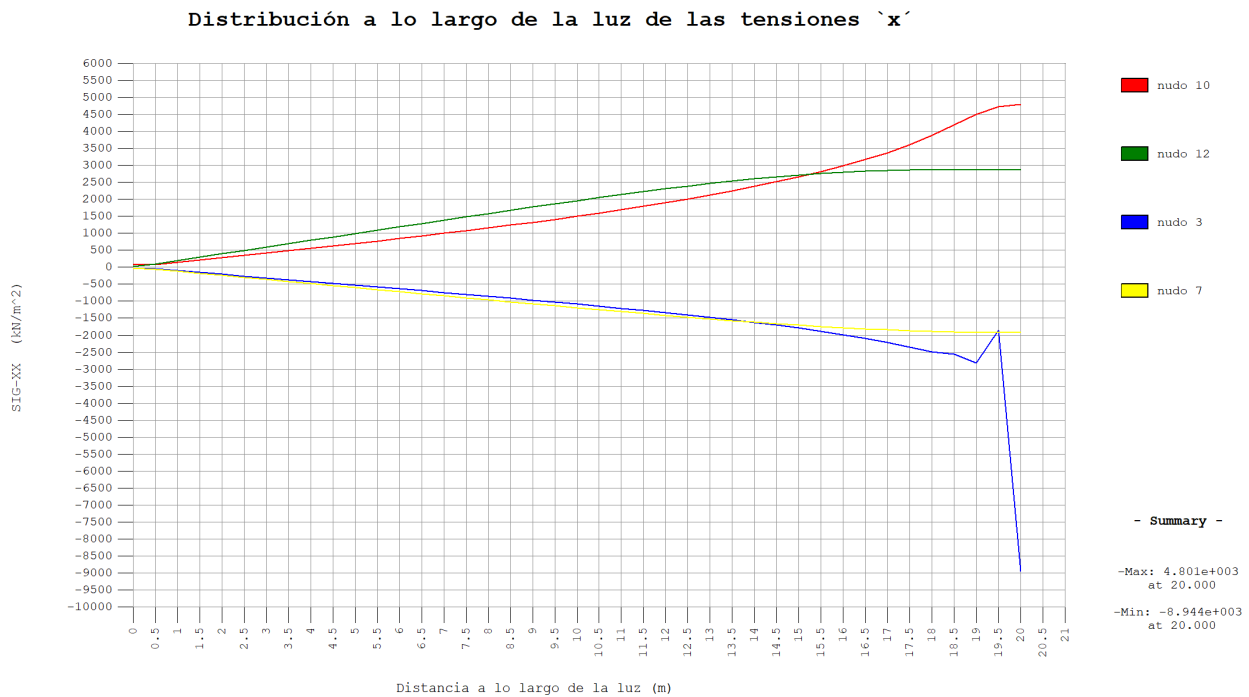


Figura 3.118 – Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

La distribución de tensiones longitudinales es similar al modelo de 40m con almas rectas, aunque con valores ligeramente inferiores, contiene las mismas perturbaciones en el nodo 3 debido a la presencia de la carga puntual.

3.3.1.3.2 Tensiones tangenciales

En las Figuras 3.119 y 3.120, se muestran las tensiones tangenciales en $x = 19.5$ m y $x = 19$ m con el objetivo de observar la disminución de tensiones al alejarnos de la zona donde está aplicada la carga.

Los valores obtenidos son mayores que en el modelo de 40 m con almas rectas.

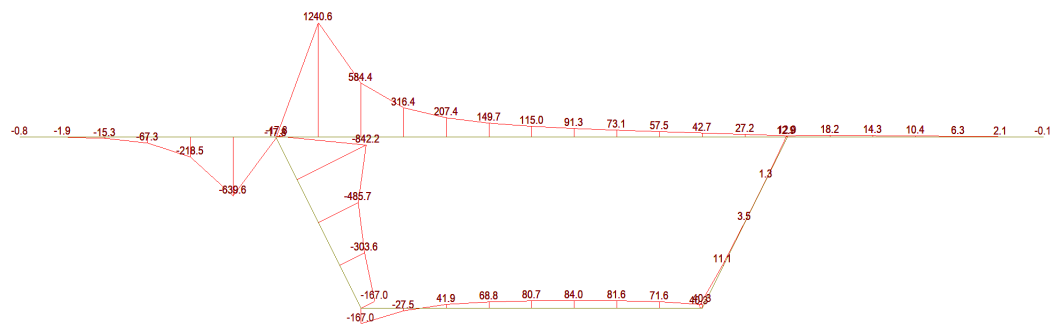


Figura 3.119 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección $x = 19.5$ m

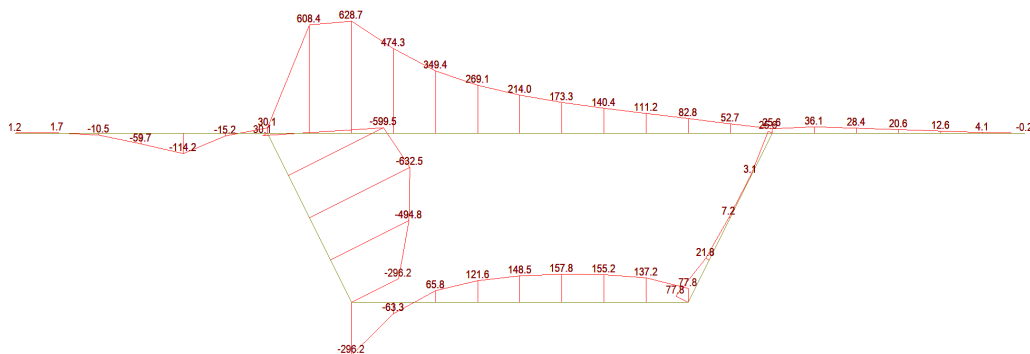


Figura 3.120 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección $x = 19$ m

3.3.1.4 Esfuerzos

Del mismo modo que en los casos anteriores, la concentración de tensiones se traduce en la concentración de esfuerzos.

3.3.1.4.1 Momentos flectores transversales

Se muestran en las Figuras 3.121 y 3.122 los diagramas de momentos flectores en la sección central y $x = 15$ m, así como la distribución del momento flector a lo largo de la luz del nodo 3 y 12.

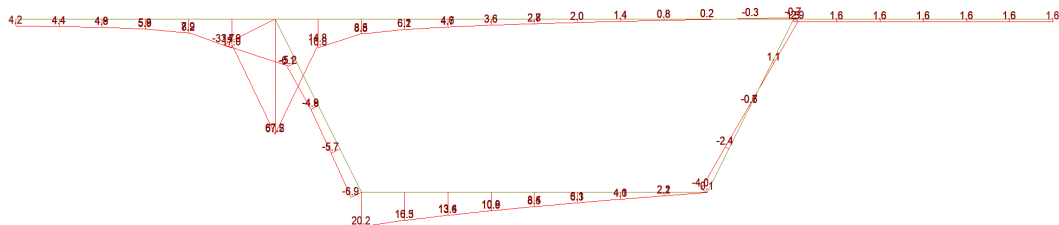


Figura 1.121 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central ($x = 20$ m)

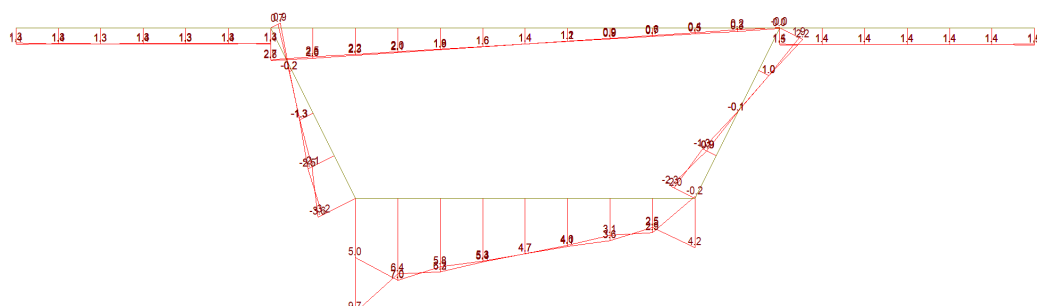


Figura 3.122 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15$ m

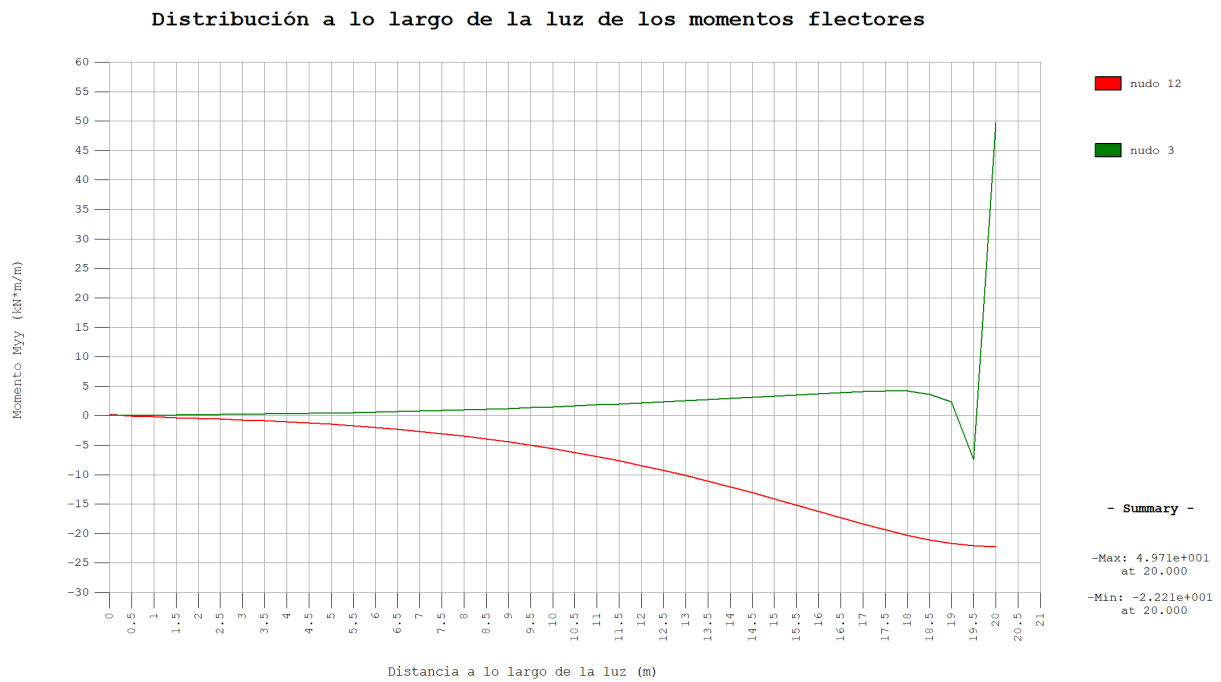


Figura 3.123 - Distribución del Momento flector M_y (kN.m/m) a lo largo de la luz

3.3.1.4.2 Esfuerzos cortantes N_{xy}

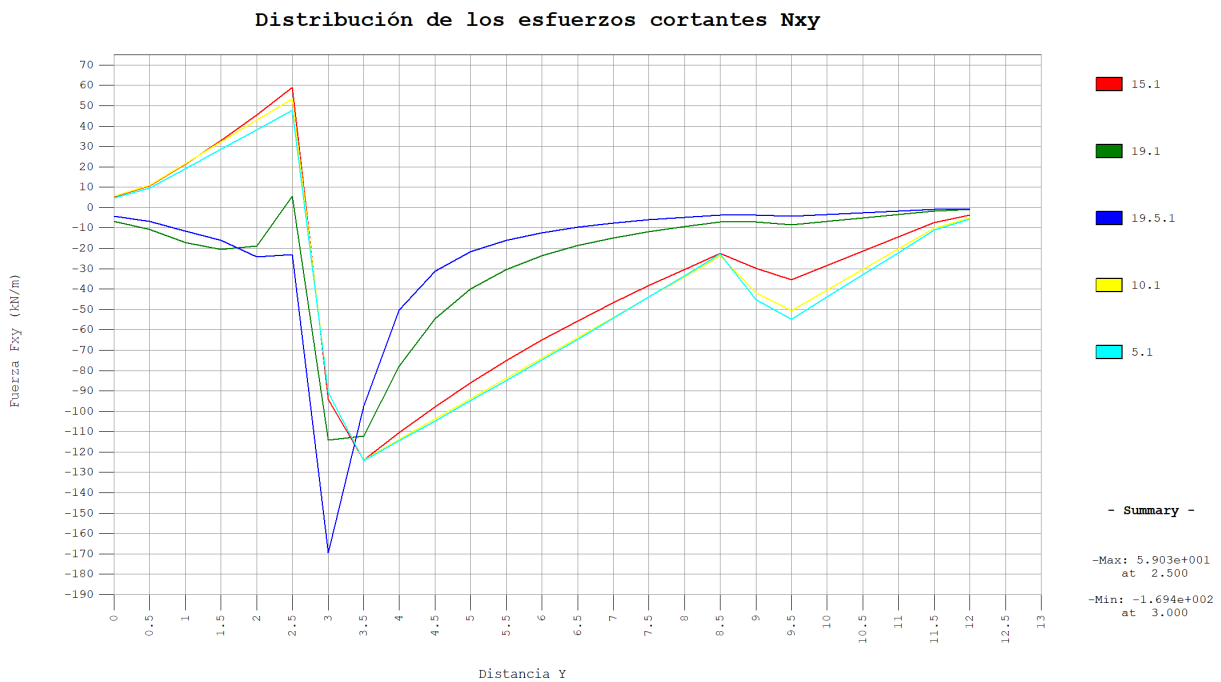


Figura 3.124 - Distribución de los esfuerzos cortantes N_{xy} (kN/m) en la losa superior

Se muestra desde el nodo 1 (ala izquierda) al nodo 9 (ala derecha) la distribución de los esfuerzos cortantes. En $y = 3$ m se producen picos en los esfuerzos, al igual que en $y = 9$ m, aunque menos determinante por estar más alejado de la aplicación de la carga.

3.3.1.5 Influencia de la situación de la carga

El cambio de situación de la carga en los diferentes nodos de la sección da lugar a variaciones en los desplazamientos, distorsión, tensiones y esfuerzos generados.

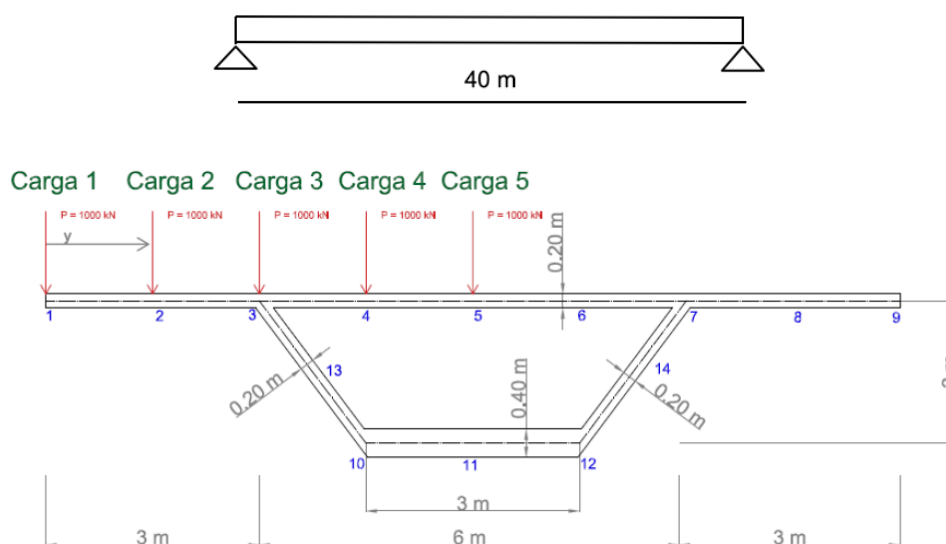


Figura 3.125 - Situación de las cargas puntuales

3.3.1.5.1 Variación en los desplazamientos

La influencia de la carga puntual al situarse en los diferentes nodos de la sección da lugar a cambios en la flecha de los nodos 3 y 7.

En la Tabla 3.10, se representan los desplazamientos en metros de los nodos 3 y 7; se toman como positivos la dirección global de los ejes cartesianos.

Nodo	Carga	DY	DZ
3	1	0.00955	-0.01487
7		0.000734	-0.010775
3	2	0.000730	-0.014516
7		0.000534	-0.010928
3	3	0.000516	-0.014377
7		0.000326	-0.011104
3	4	0.000238	-0.013476
7		0.000132	-0.011603
3	5	0.000044	-0.012493
7		-0.000044	-0.012493

Tabla 3.10 - Desplazamientos en los nodos 3 y 7 en la sección central.

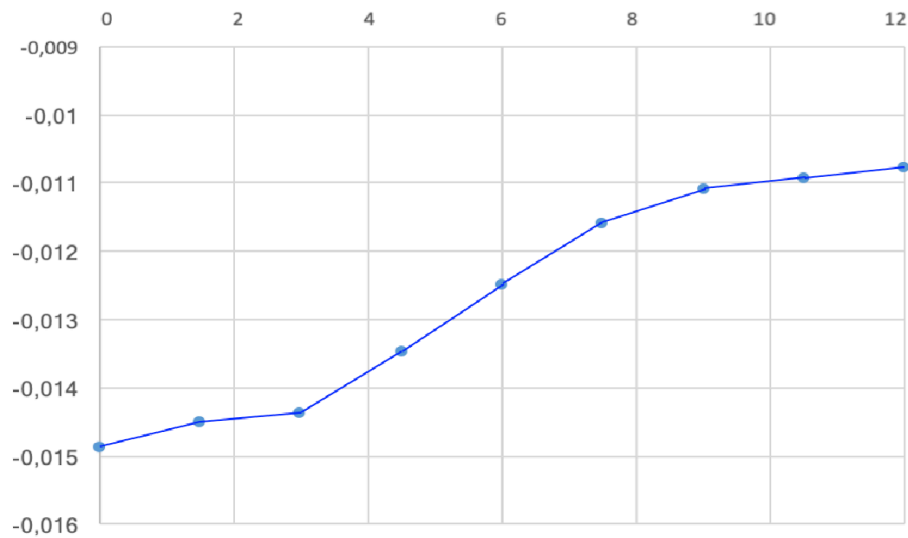


Figura 3.126 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

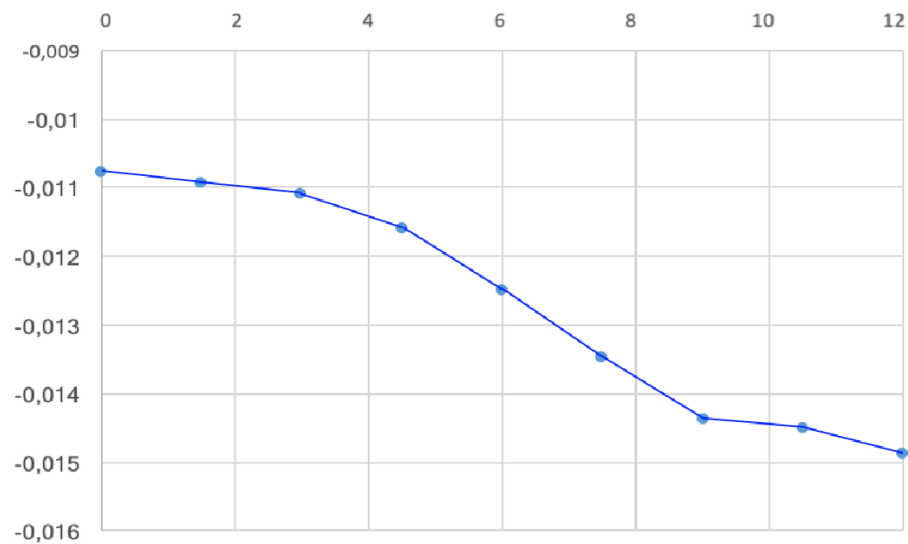


Figura 3.127 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

Los desplazamientos son simétricos debido a que los nodos y las cargas son simétricos. El desplazamiento máximo en el modelo de sección con almas rectas se producía sobre el alma. En este modelo, el máximo desplazamiento se produce en el extremo del ala. La causa de esta diferencia es que la sección de almas inclinadas tiene menor rigidez a torsión y, por tanto, mayor giro, lo que provoca que el extremo del ala descienda más que el alma.

3.3.1.5.2 Variación en la distorsión

La variación de la distorsión se estudia en la sección mas desfavorable, la sección central.

Carga	Distorsión (rad)
1	0.001485
2	0.001184
3	0.000914
4	0.000505
5	0.000000

Tabla 3.11 - Distorsión sección central

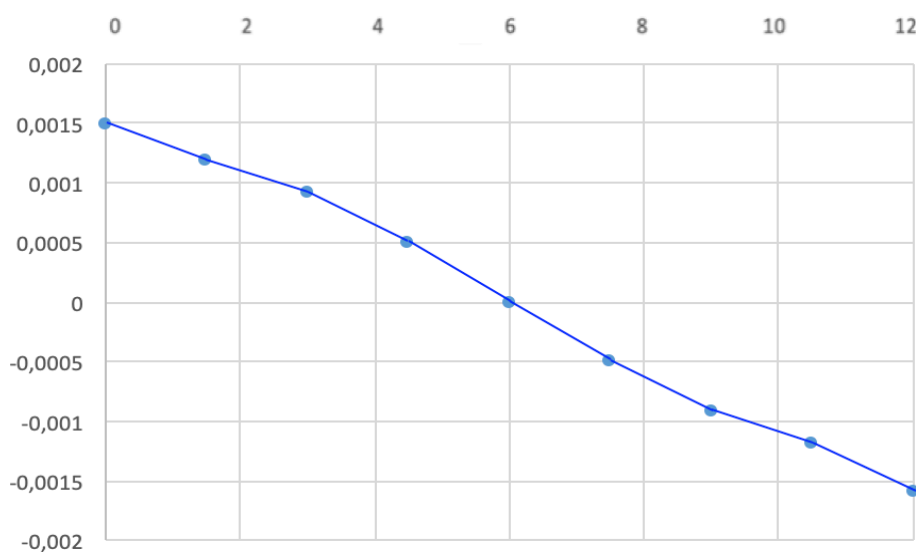


Figura 3.128 - Distorsión en la sección central

Existe una diferencia considerable en la forma de la distribución de la distorsión siendo el alma de la sección recta o inclinada.

Siendo el alma inclinada, la distribución es lineal con la excentricidad, mientras que con el alma de la sección recta la mayor excentricidad se encuentra cuando la carga se encuentra sobre el alma.

3.3.1.5.3 Variación en las tensiones

En la Figura 3.129, podemos ver las secciones de interés para el estudio de la variación de las tensiones y esfuerzos.

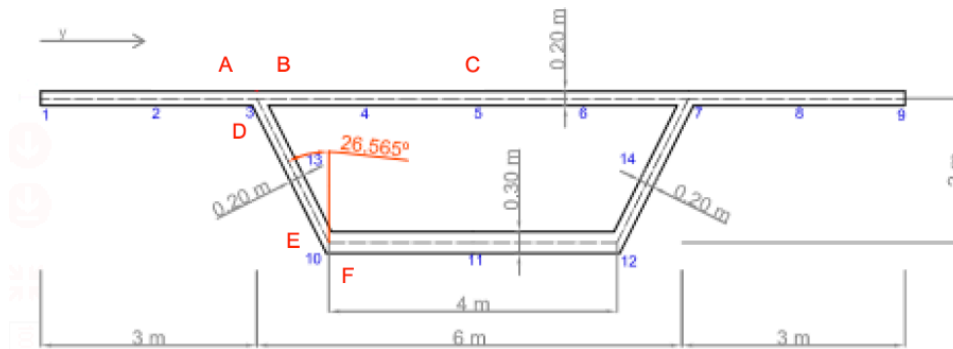


Figura 3.129 - Puntos significativos

Los valores de las tensiones se expresan en kN/m^2 . Se representan las líneas de influencia de las tensiones longitudinales en la sección central en los nodos 3 y 10, que forman parte de la losa superior e inferior.

El modelo con la sección con almas inclinadas, en general, tiene valores menores.

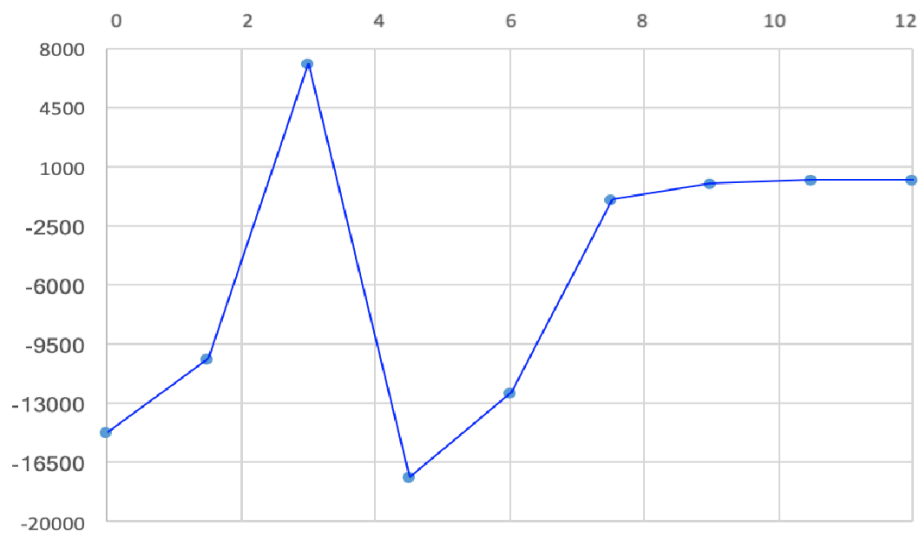


Figura 3.130 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

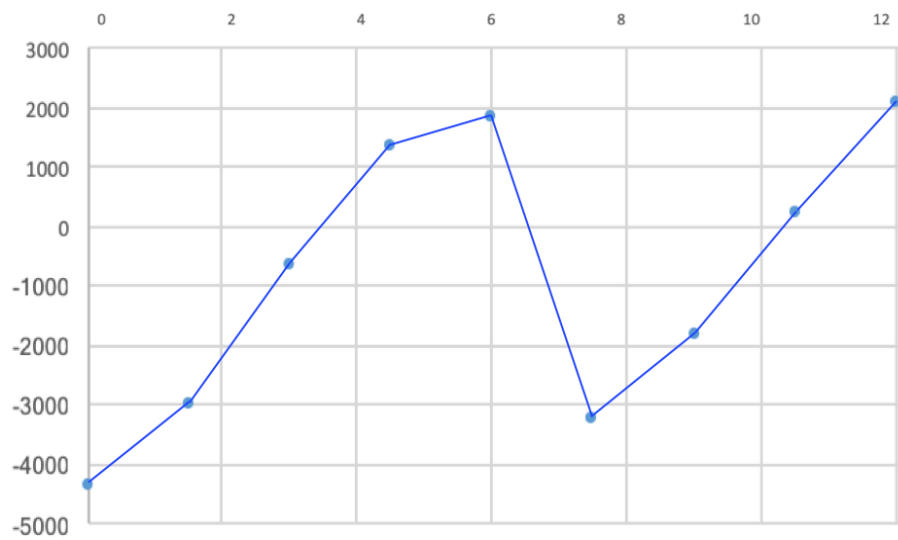


Figura 3.131 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

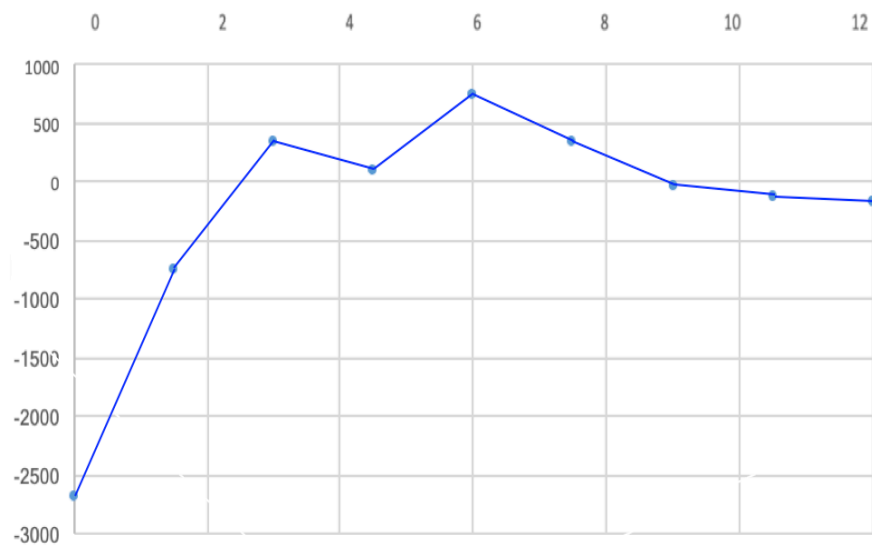


Figura 3.132 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección $x = 15$ m.

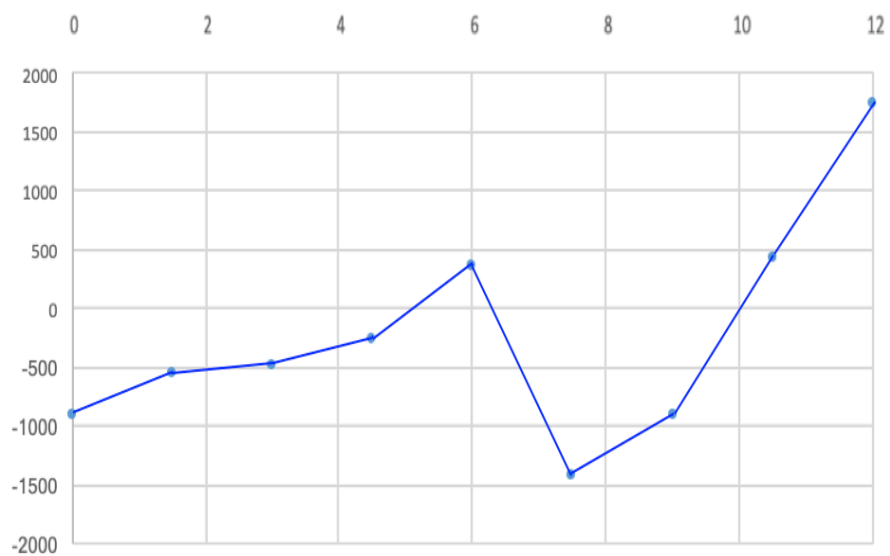


Figura 3.133 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 15$ m.

3.3.1.5.4 Variación en los esfuerzos

Se muestran las líneas de influencia de los momentos flectores y los esfuerzos cortantes en los nodos 3, 5 y 10, observando las secciones colindantes cuando la carga puntual se mueve transversalmente por la losa superior de la sección.

- Momentos flectores:

La variación que produce el cambio de situación de la carga puntual se observa con más claridad en la sección central. Los esfuerzos están expresados en kN.m/m.

Los valores obtenidos son prácticamente iguales al caso de sección con almas rectas. En este caso, también se observa una diferencia de valores entre las secciones D y E.

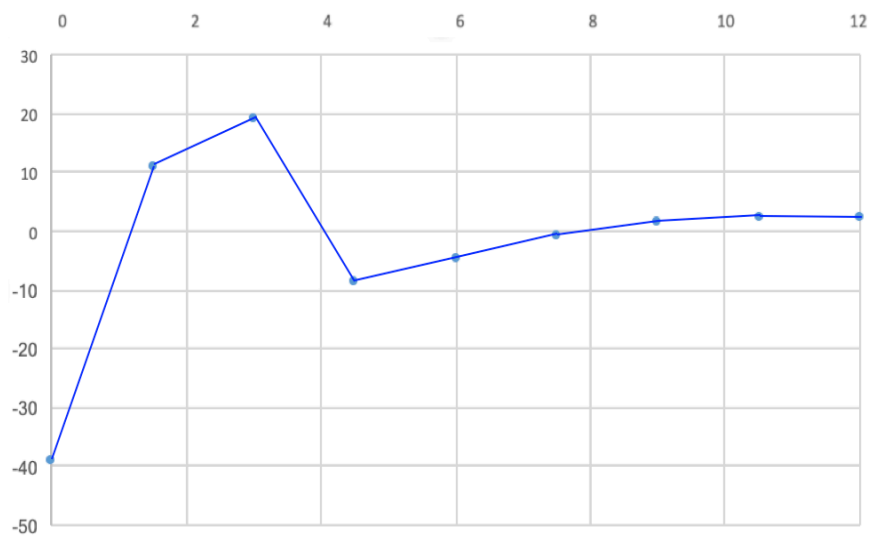


Figura 3.134 - My Sección A

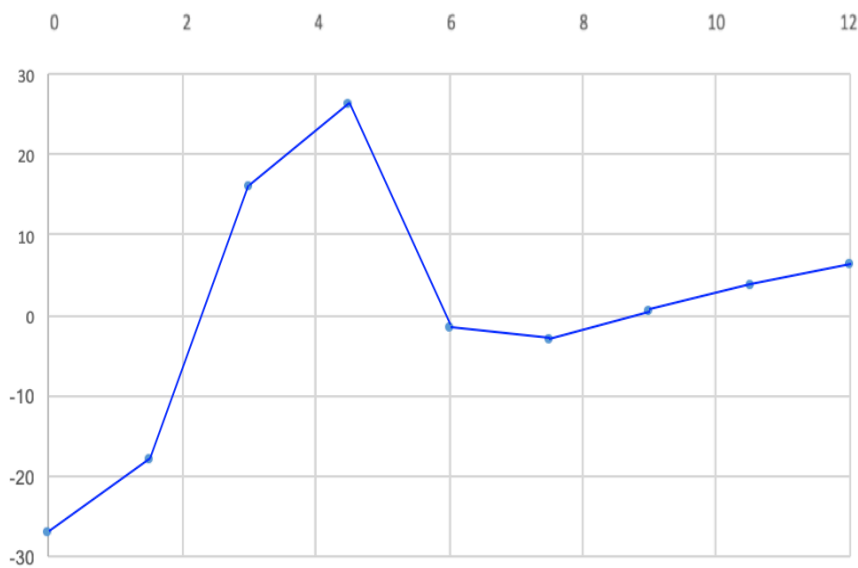


Figura 3.135 - My Sección B

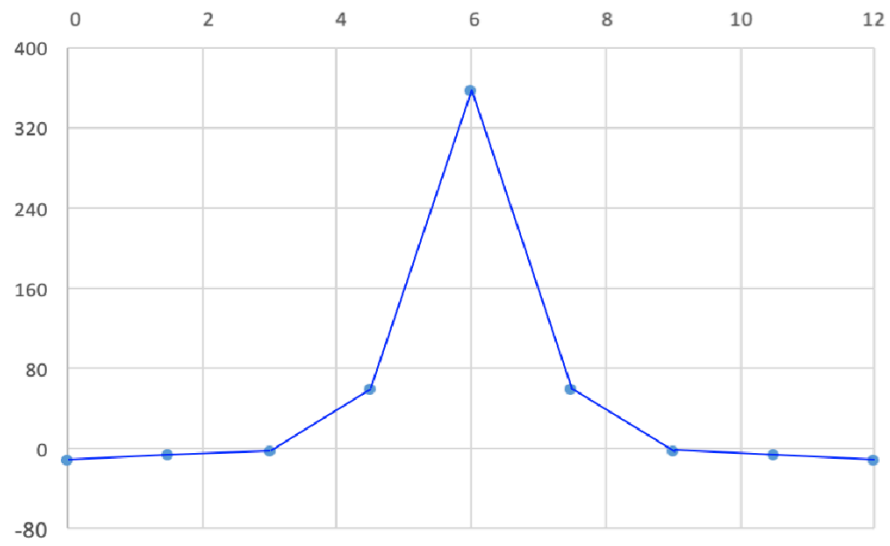


Figura 3.136 - My Sección C

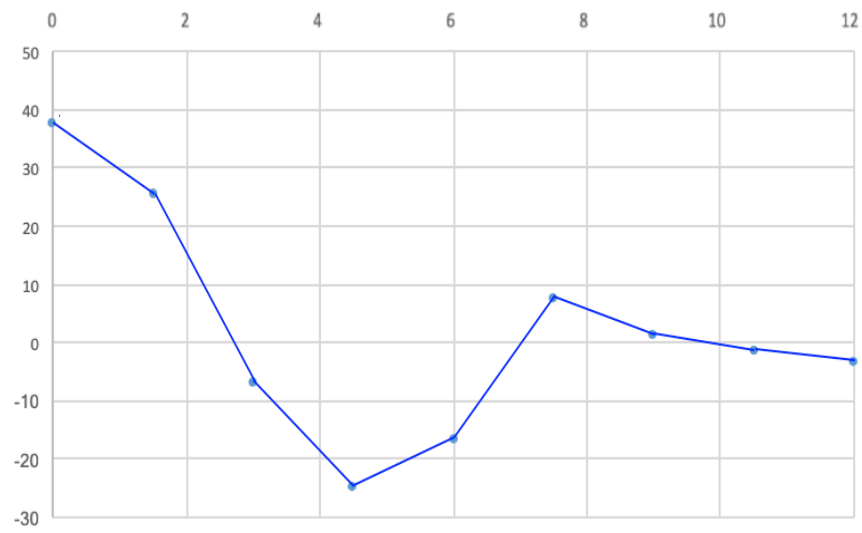


Figura 3.137 - My Sección D

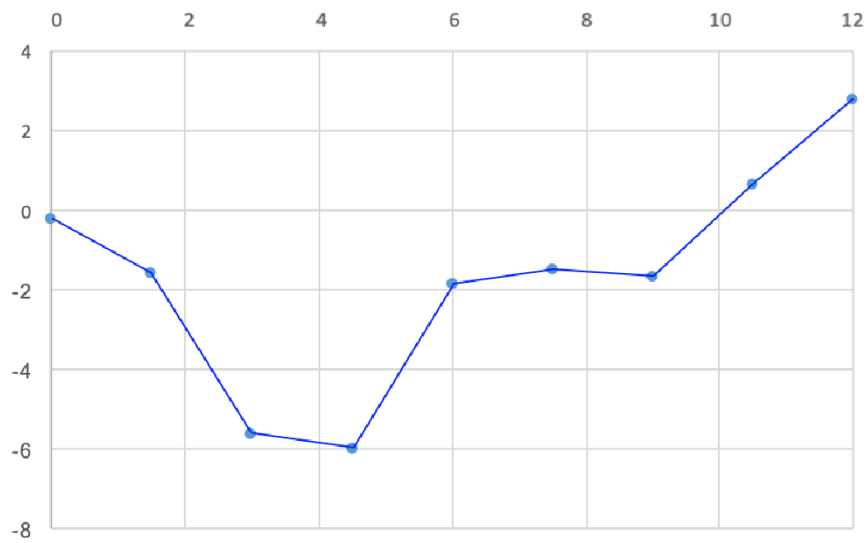


Figura 3.138 - My Sección E

- Esfuerzos axiles

Se han obtenido los esfuerzos axiles de las secciones A, B, C y F. Están expresados en kN/m.

Los esfuerzos axiles N_y son mayores cuando la carga actúa sobre el alma; mientras que en el modelo de las almas rectas los esfuerzos axiles eran mayores en los extremos de las alas. Puede observarse, también, que los esfuerzos mayores se encuentran en la losa superior debido a la inclinación de las almas.

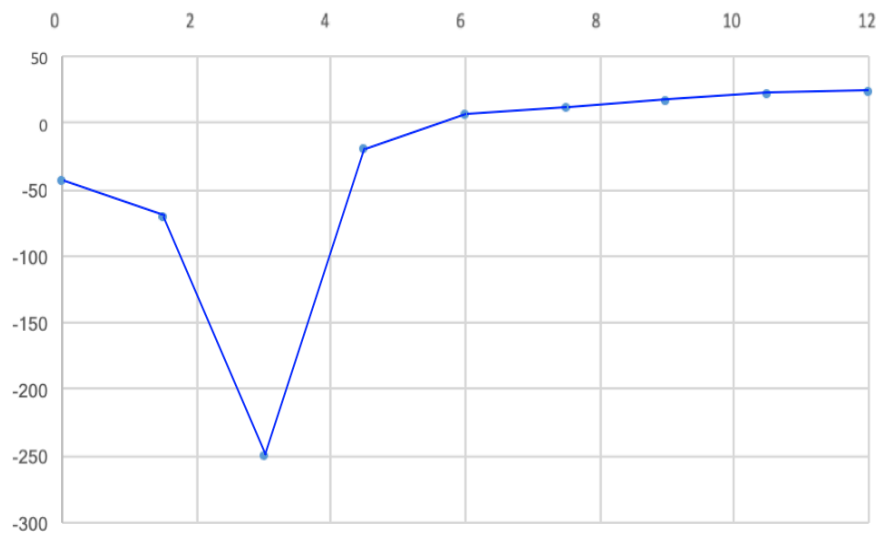


Figura 3.139 - N_y Sección A

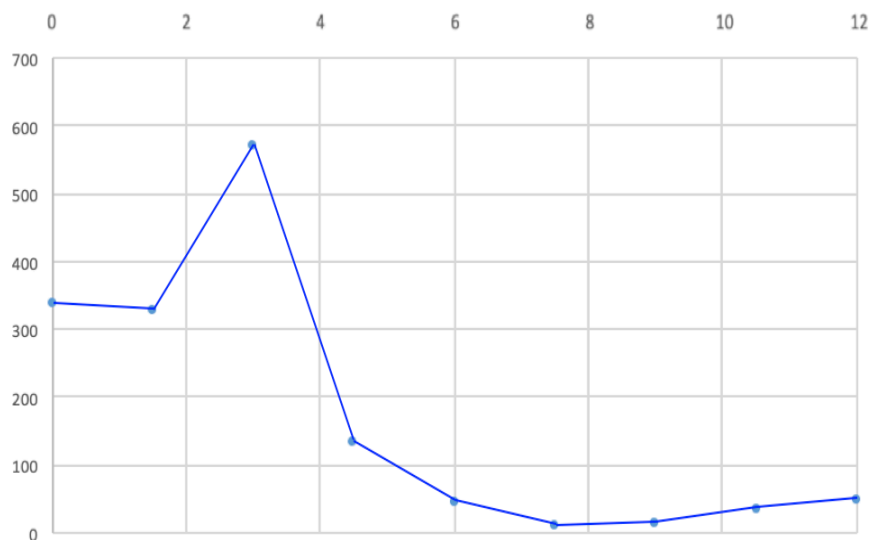


Figura 3.140 - N_y Sección B

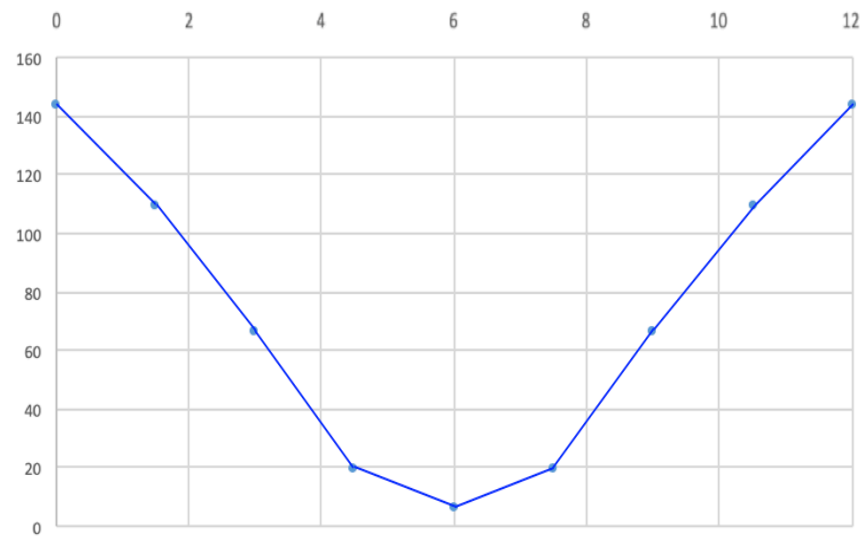


Figura 3.141 - Ny Sección C

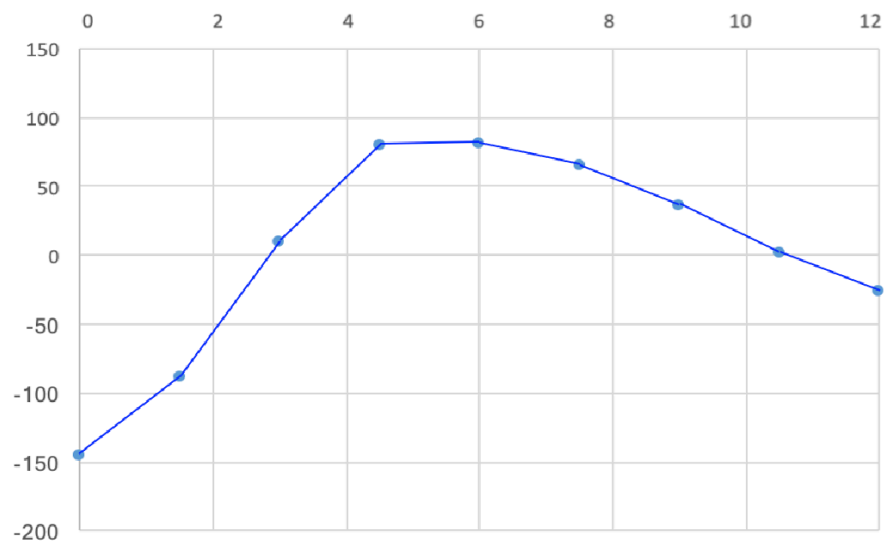


Figura 3.142 - Ny Sección F

3.3.2 Respuesta ante cargas distribuidas

Se somete a las mismas cargas distribuidas que fueron estudiadas anteriormente, 4 kN/m^2 a lo largo de todo el puente y en 6 metros en dirección transversal, tal como aparece en la Figura 3.143.

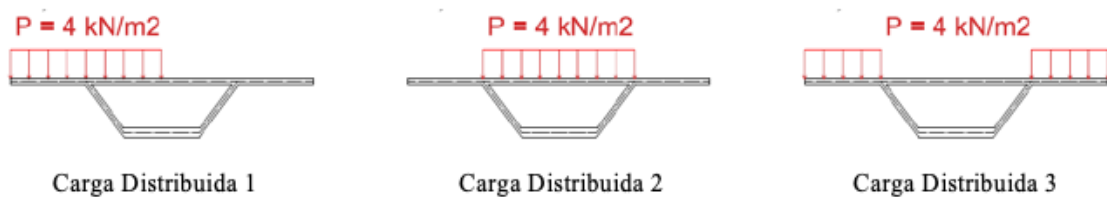


Figura 3.143 - Modelos de cargas distribuidas

3.3.2.1 Desplazamientos

Los desplazamientos más notables son provocados por la carga distribuida 1. Se representan los desplazamientos en la sección central y en $x = 15$ m, Figuras 3.144, 3.145 y 3.146.

Los desplazamientos producidos por la carga distribuida 1 son menores que los provocados por la carga puntual en el nodo 3, y son repartidos de forma más suave a lo largo de la longitud del vano.

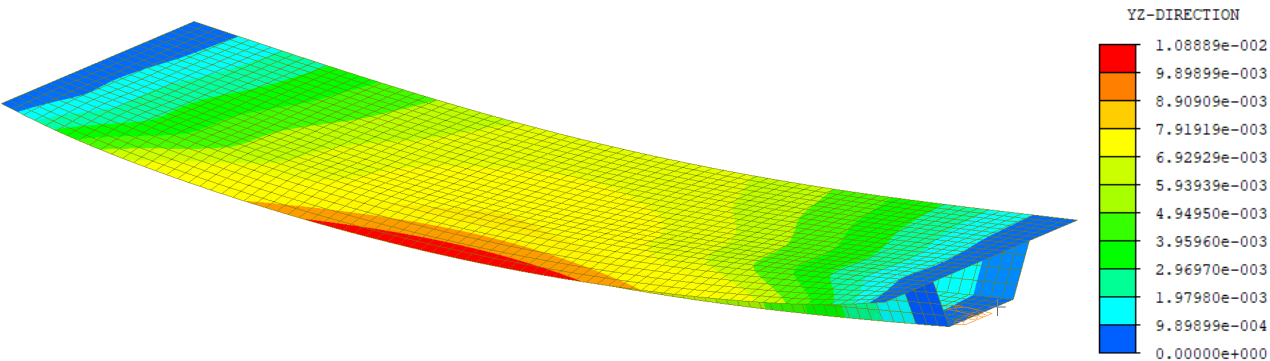


Figura 3.144 - Desplazamiento del modelo (m)

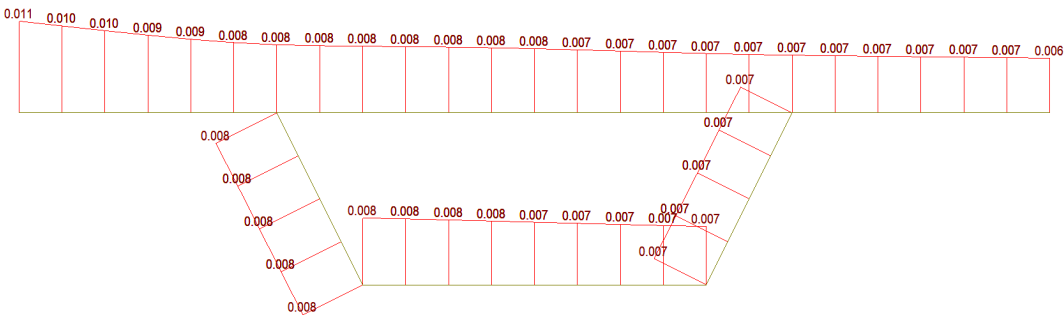


Figura 3.145 - Desplazamiento (m) para $x = 20$ m

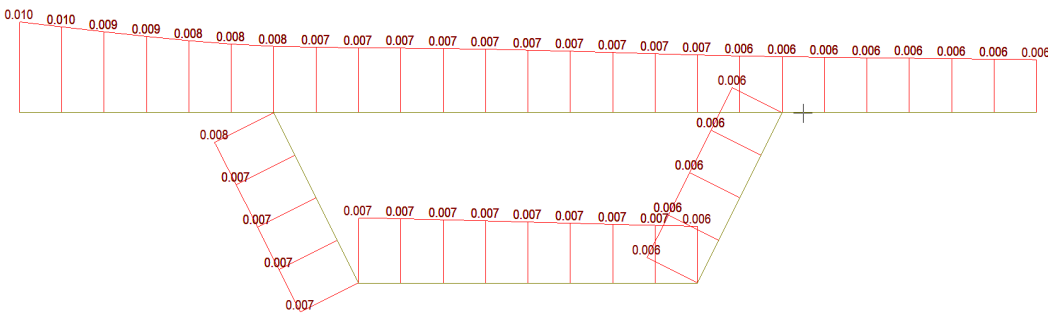


Figura 3.146 - Desplazamiento (m) para $x = 15$ m

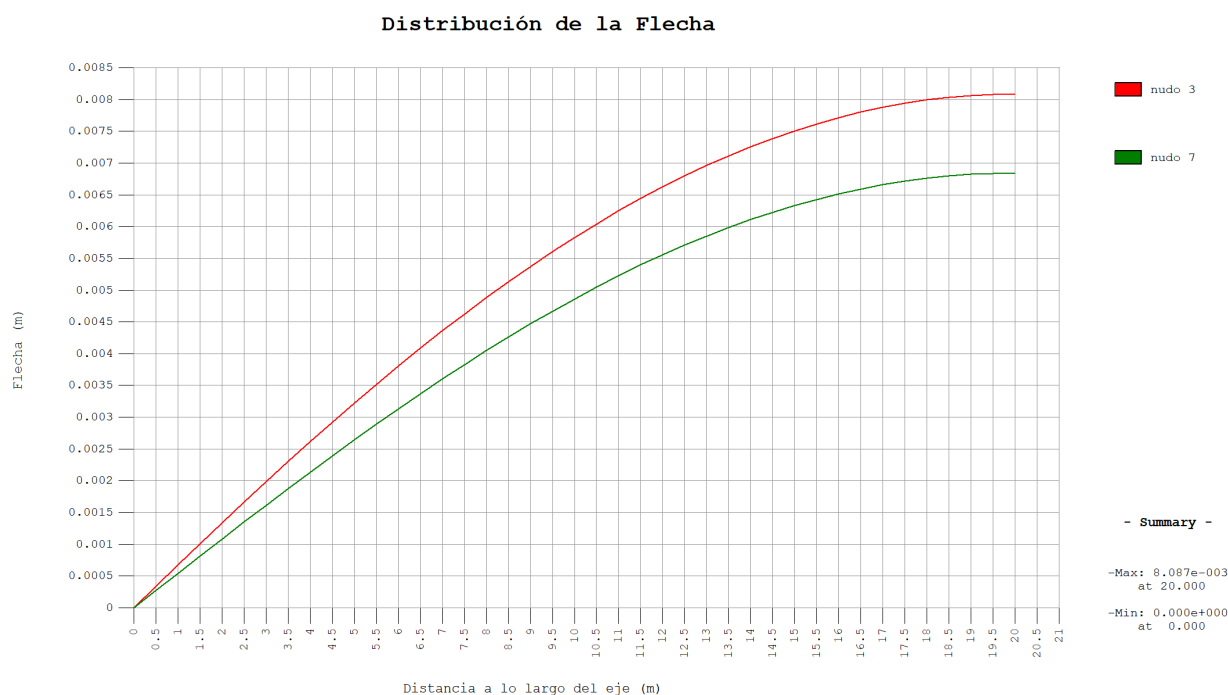


Figura 3.147 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Comparando la distribución de las flechas de los nodos 3 y 7 a lo largo de la luz de bajo carga puntual en nodo 3 y carga distribuida 1, hay que indicar que bajo la actuación de la carga distribuida 1 son aproximadamente la mitad.

3.3.2.2 Distorsión

Debido a que las cargas distribuidas 2 y 3 son simétricas, es la carga distribuida 1 la que presenta mayor interés. En la Tabla 3.12 se muestran los valores obtenidos.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00479	0.00008	0.00649	0.00011	0.00537	0.00009	0.00349	0.00006	0.00018
10	0.00845	0.00015	0.01047	0.00018	0.00902	0.00016	0.00649	0.00011	0.00030
15	0.01080	0.00019	0.01257	0.00022	0.01114	0.00019	0.00845	0.00015	0.00038
16	0.01108	0.00019	0.01280	0.00022	0.01139	0.00020	0.00869	0.00015	0.00038
17	0.01129	0.00020	0.01299	0.00023	0.01159	0.00020	0.00887	0.00016	0.00039
18	0.01146	0.00020	0.01212	0.00023	0.01173	0.00021	0.00900	0.00016	0.00040
19	0.01157	0.00020	0.01320	0.00023	0.01181	0.00021	0.00907	0.00016	0.00040
20	0.01157	0.00020	0.01324	0.00023	0.01184	0.00021	0.00912	0.00016	0.00040

Tabla 3.12 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

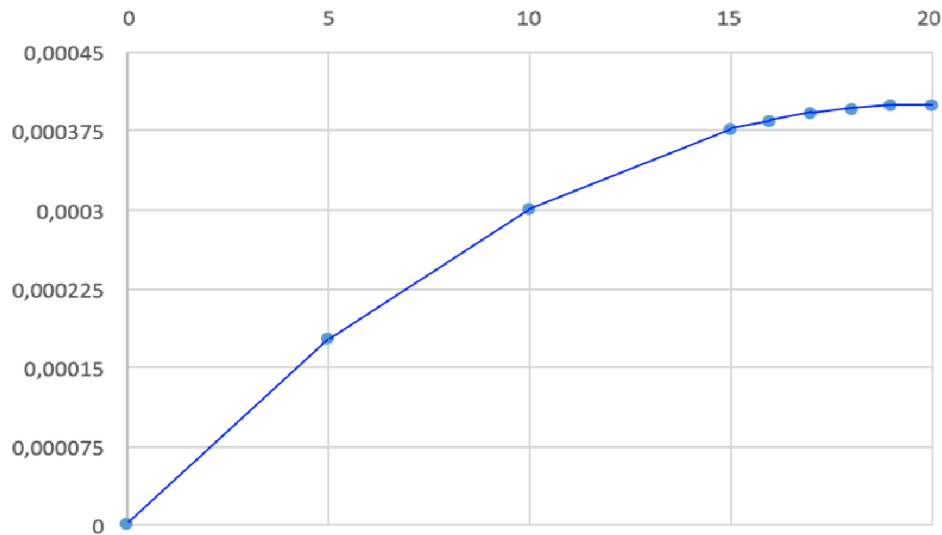


Figura 3.148 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

Del mismo modo, que ocurre con el modelo de sección con almas rectas, la carga distribuida 1 produce una distorsión, aproximadamente, de un tercio menos que la carga puntual.

Comparando la distorsión de los dos modelos de 40 m de longitud, con almas rectas e inclinadas, en presencia de la carga distribuida 1, podemos afirmar que la distribución de la distorsión en ambos modelos es similar en forma y valores.

3.3.2.3 Tensiones

3.3.2.3.1 Tensiones longitudinales

Se representa a continuación las tensiones longitudinales en la sección central bajo la acción de las cargas distribuidas 1, 2 y 3, Figuras 3.149, 3.150 y 3.151.

Los resultados obtenidos son similares al modelo de la viga cajón con almas rectas, presentan la misma forma los diagramas y los valores son razonablemente parecidos.

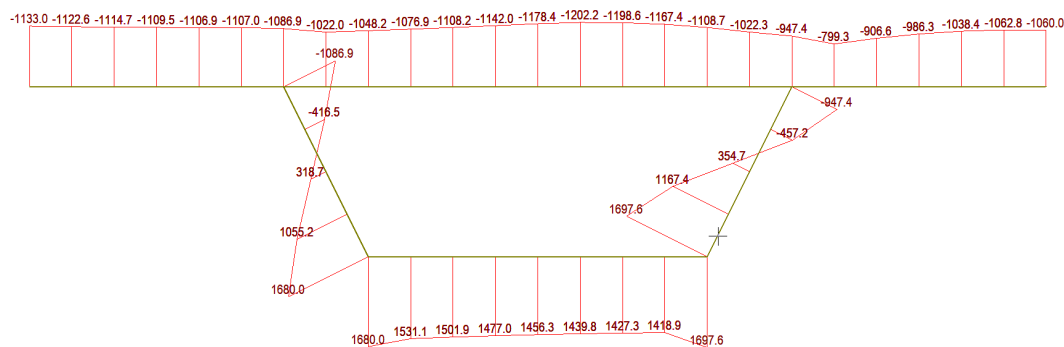


Figura 3.149 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en el centro de la luz ($x = 20$ m)

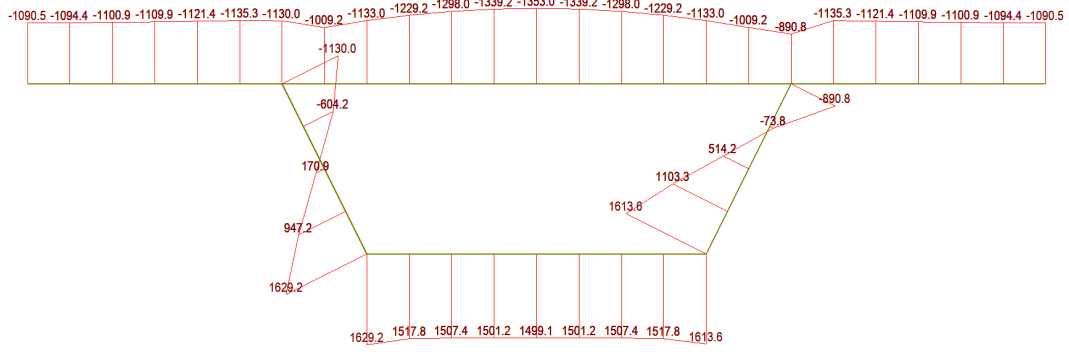


Figura 3.150 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 2 en el centro de la luz (x = 20 m)

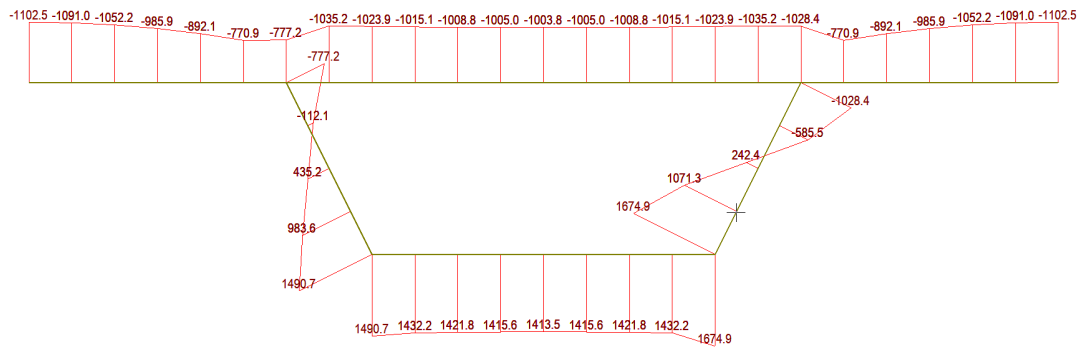


Figura 3.151 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist. 3 en el centro de la luz (x = 20 m)

3.3.2.3.2 Tensiones tangenciales

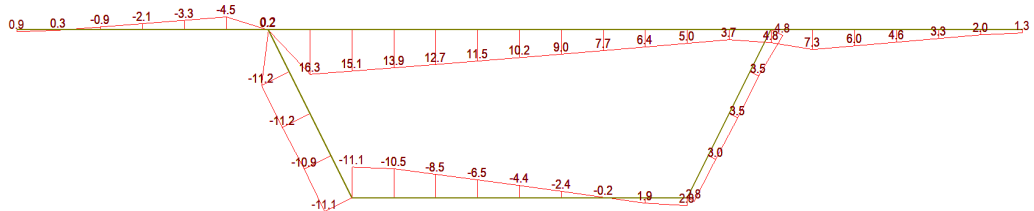


Figura 3.152 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección x = 19.5 m

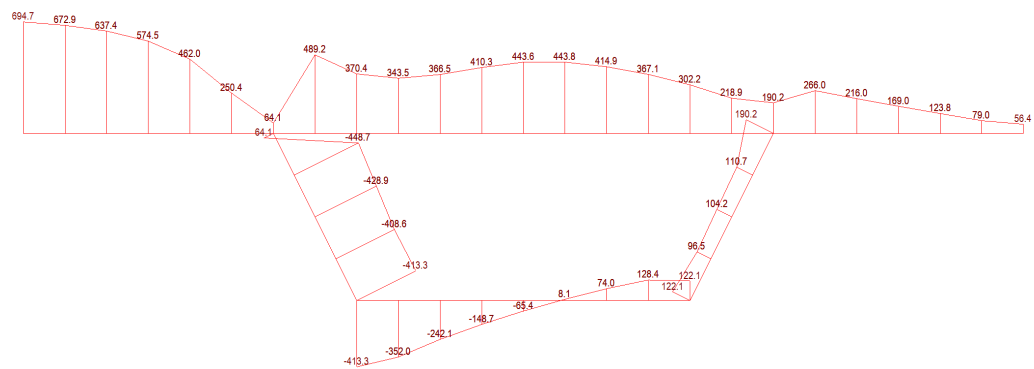


Figura 3.153 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) para Carga Dist. 1 en la sección x = 0 m

Al tratarse de cargas distribuidas, no necesita una redistribución de tensiones, puede observarse que las tensiones tangenciales de la sección $x = 19.5$ m sean considerablemente menores que en el caso de carga puntual. De esta forma, la redistribución de tensiones tangenciales se produce en las secciones extremos ($x = 0$ m), Figura 3.153, bajo las cargas puntuales de los apoyos.

También podemos observar, que los valores de la sección $x = 0$ m en los modelos de 40 m de longitud con almas rectas e inclinadas, son prácticamente iguales.

3.3.2.4 Esfuerzos

3.3.2.4.1 Momentos flectores transversales

En las siguientes Figuras, se presentan los momentos flectores transversales M_y bajo la acción de las cargas distribuidas 1, 2 y 3, tanto en la sección central como en $x = 15$ m.

La ley de momentos es más homogénea bajo la acción de cargas distribuidas, presentando valores que recuerdan a la teoría de Resistencia de Materiales.

Comparando con el modelo de 40 m de longitud que presenta la sección con almas rectas, bajo la acción de idénticas cargas distribuidas, podemos observar que en el modelo con almas rectas, las alas absorben mayor momento; mientras que en el modelo con almas inclinadas, la mayor parte del momento flector es absorbido por la losa inferior.

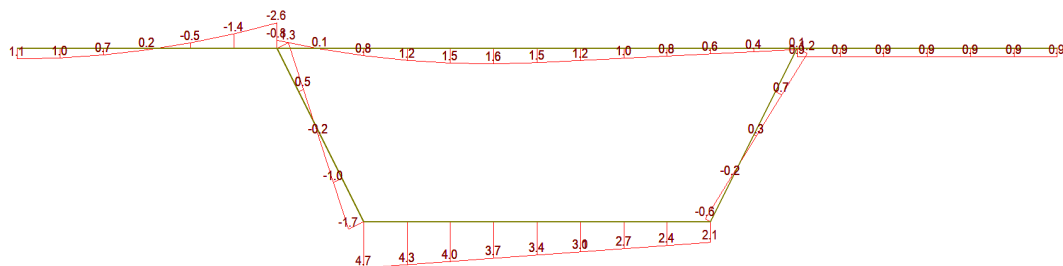


Figura 3.154 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección centra para la C. Dist 1

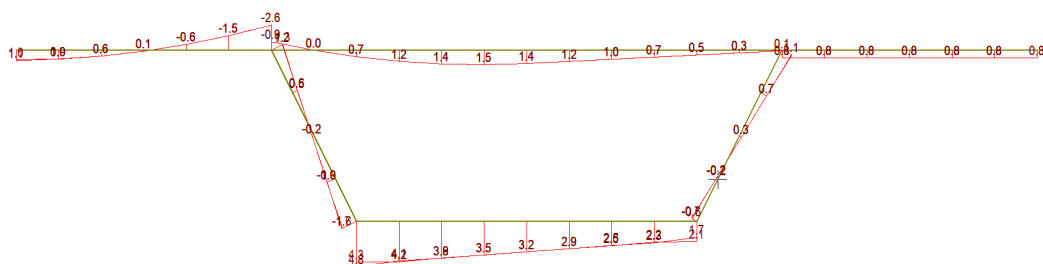


Figura 3.155 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15$ m para la C. Dist 1

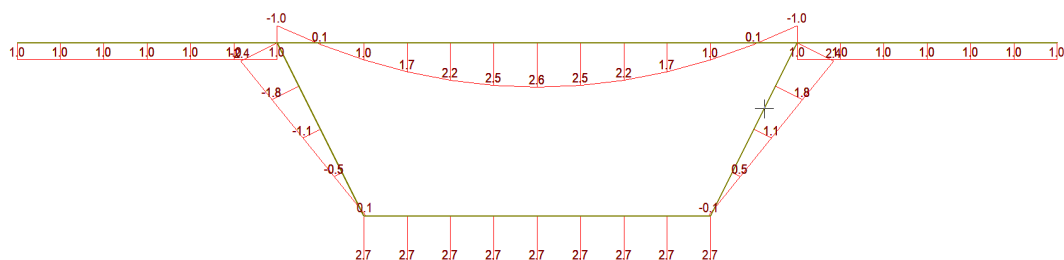


Figura 3.156 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 2

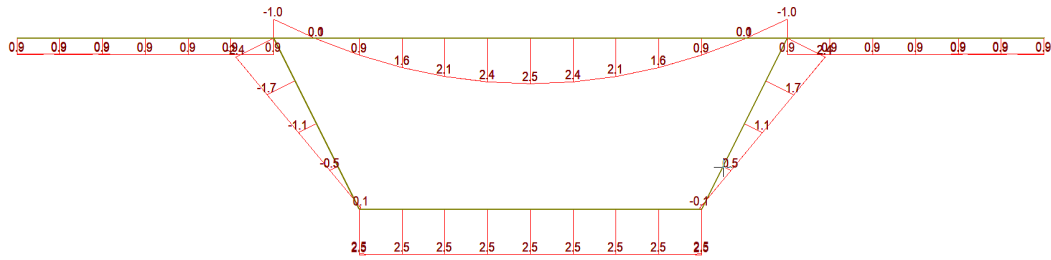


Figura 3.157 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15$ m para la C. Dist 2

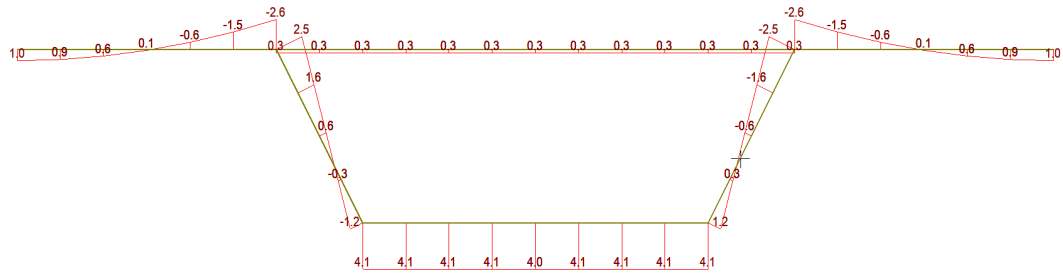


Figura 3.158 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 3

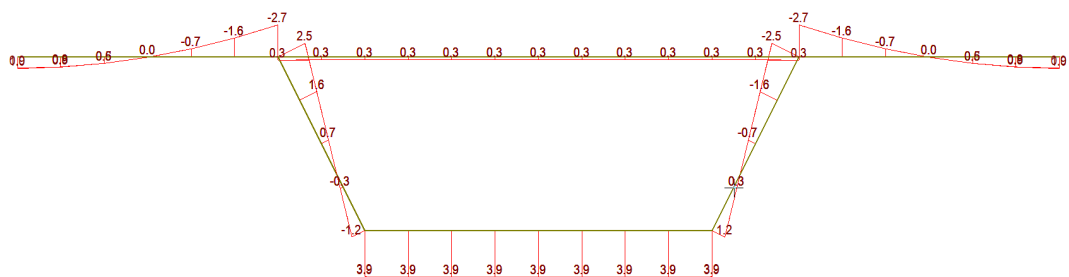


Figura 3.159 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 15$ m para la C. Dist 3

Se representa, a continuación, la distribución del momento flector M_y para las tres cargas distribuidas a lo largo de la luz de los nodos 3, 7, 10 y 12, Figuras 3.160, 3.161 y 3.162.

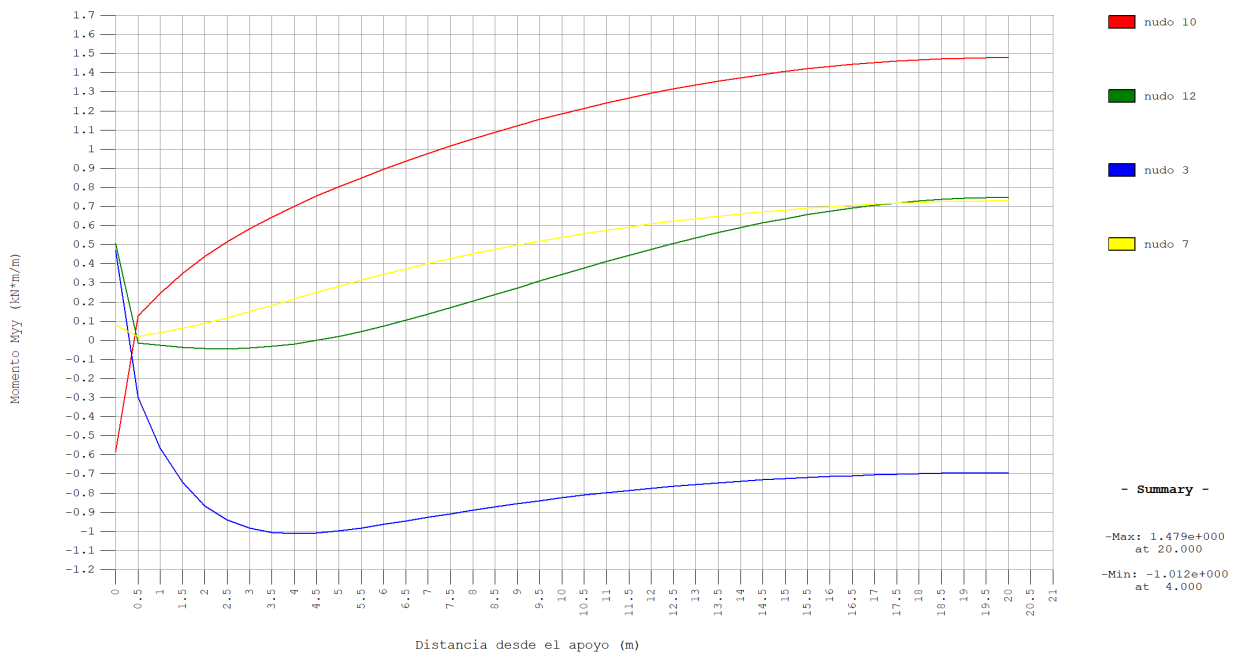


Figura 3.160 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 1

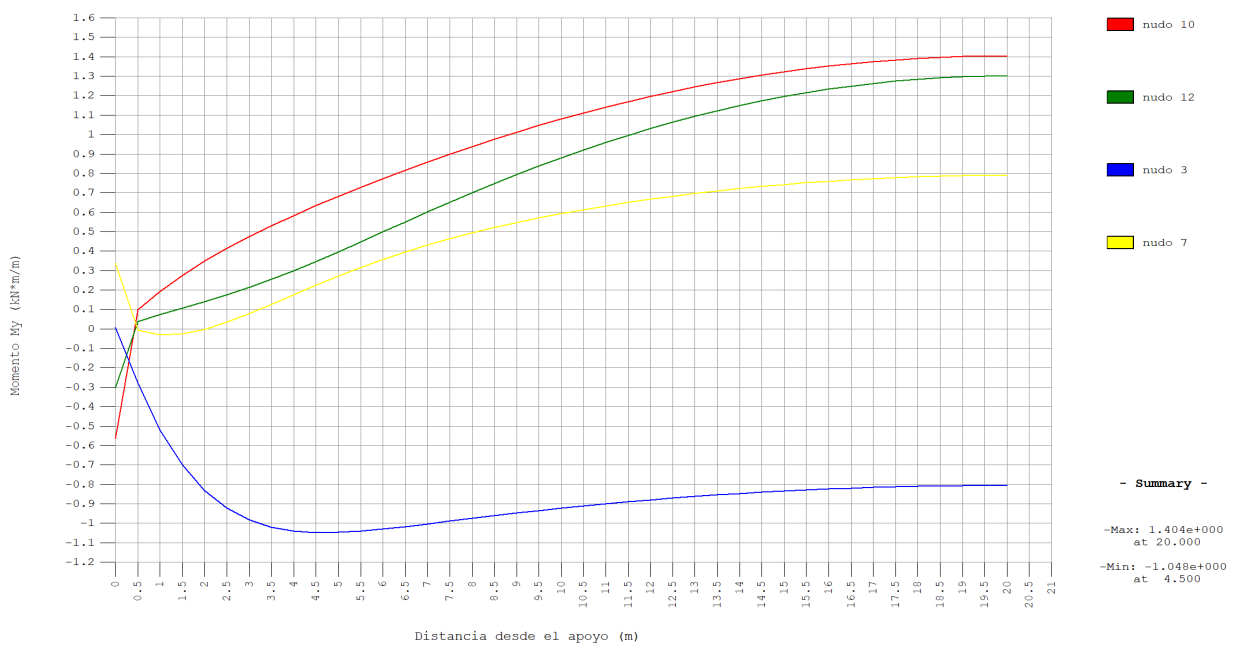


Figura 3.161 - Dtribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 2

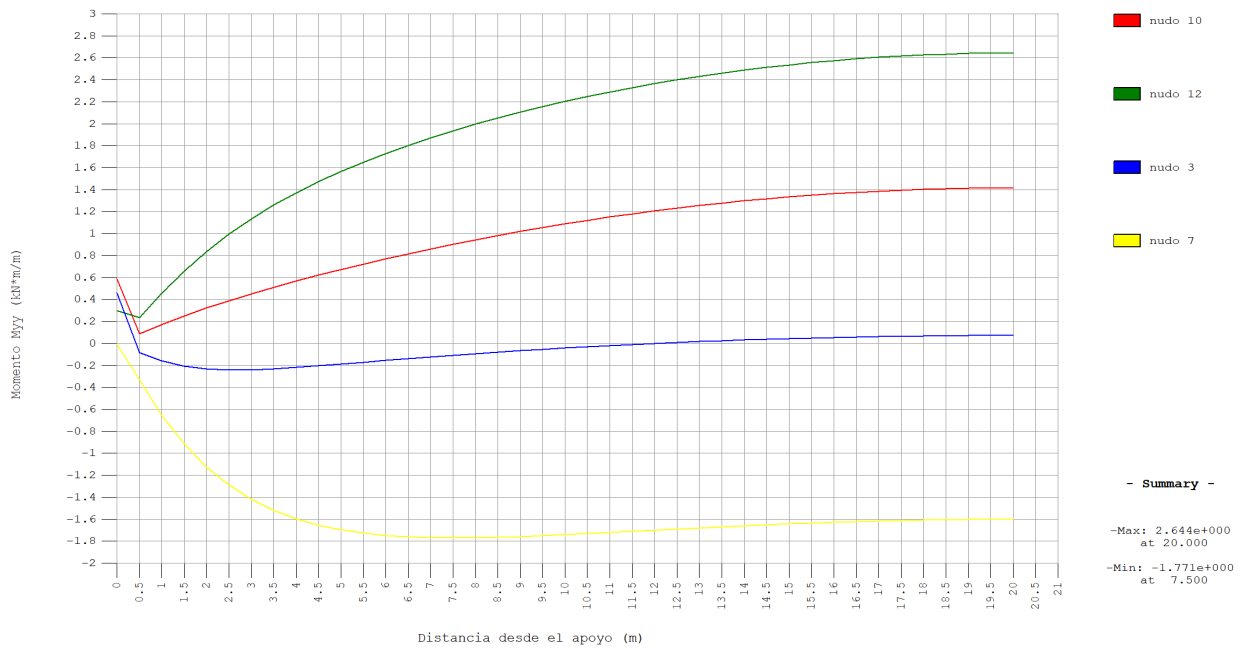


Figura 3.162 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 3

3.3.2.4.2 Esfuerzos cortantes

En la Figura 3.163, se presenta el esfuerzo cortante máximo en la sección del apoyo ($x = 0$ m) de la carga distribuida 1, ya que proporciona los valores más importantes.

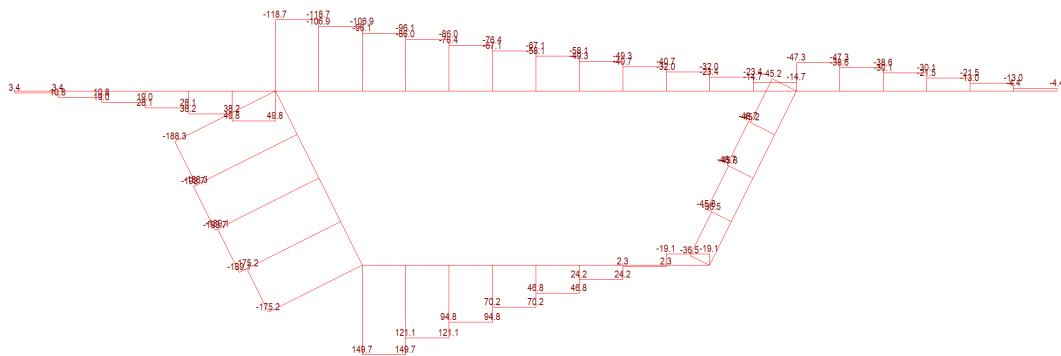


Figura 3.163 - Distribución del cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0$ m) para C. Dist 1

3.4 Comportamiento de la viga cajón de 100 m de longitud con almas inclinadas.

Se procede, a continuación, al estudio del modelo de 100 m de longitud y sección en cajón con almas inclinadas.

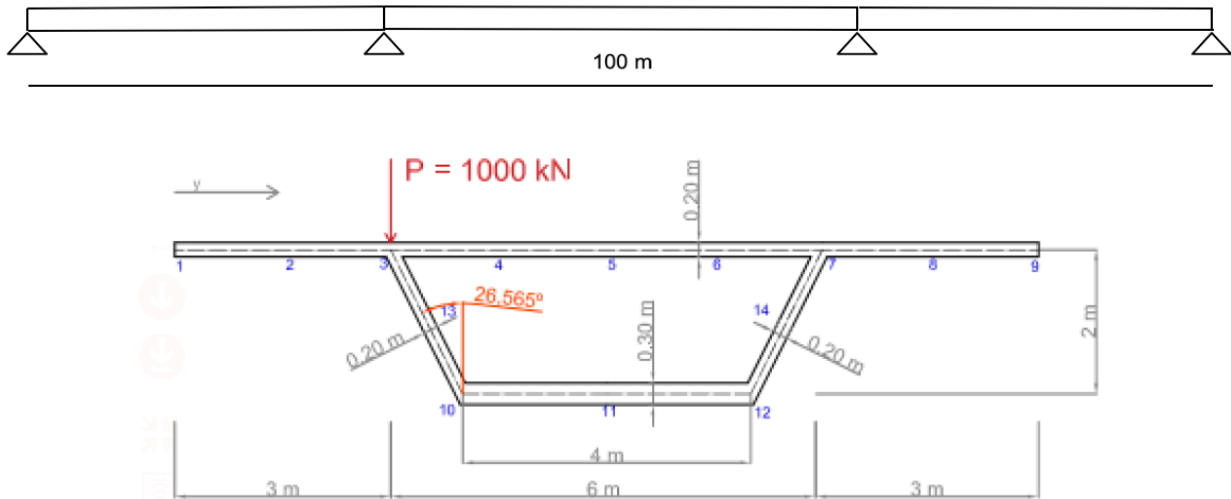


Figura 3.164 - Geometría

3.4.1 Respuesta ante cargas puntuales

De nuevo, se procede al estudio de la carga descentrada colocada en el nodo 3, zona superior del alma izquierda de la sección de valor 1000 kN.

3.4.1.1 Desplazamientos

En las Figuras 3.166 y 3.167 se muestran los desplazamientos en la sección central del modelo y en $x = 37.5 \text{ m}$. Se representa, también, la distribución de la flecha a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7.

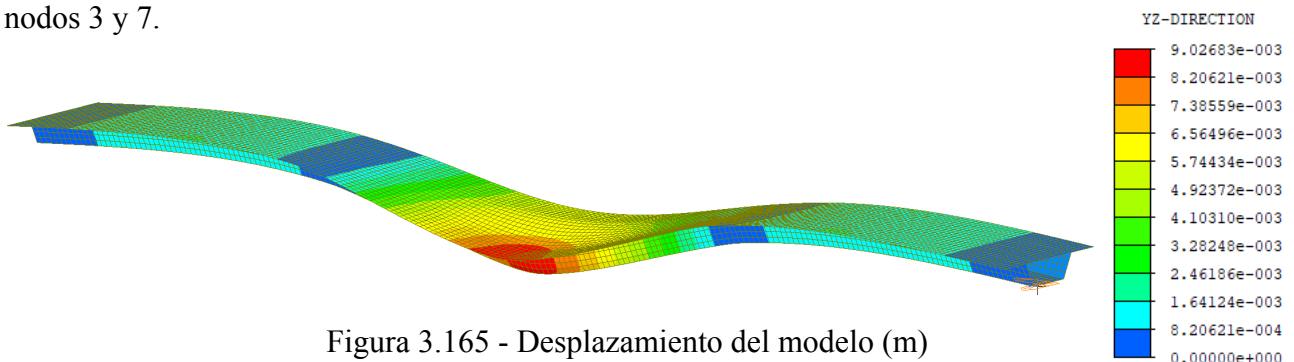


Figura 3.165 - Desplazamiento del modelo (m)

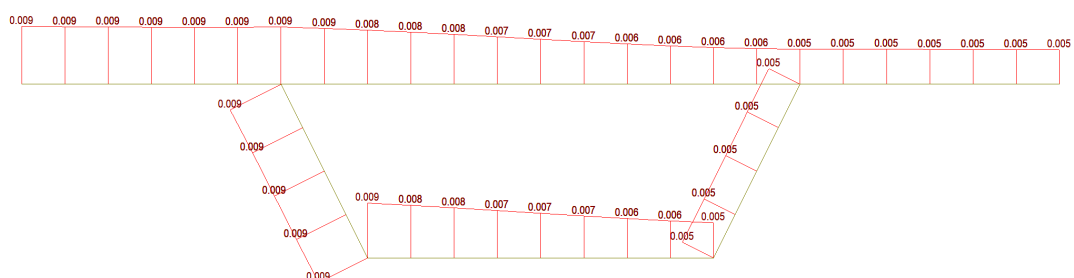


Figura 3.166 - Desplazamiento (m) para $x = 50 \text{ m}$

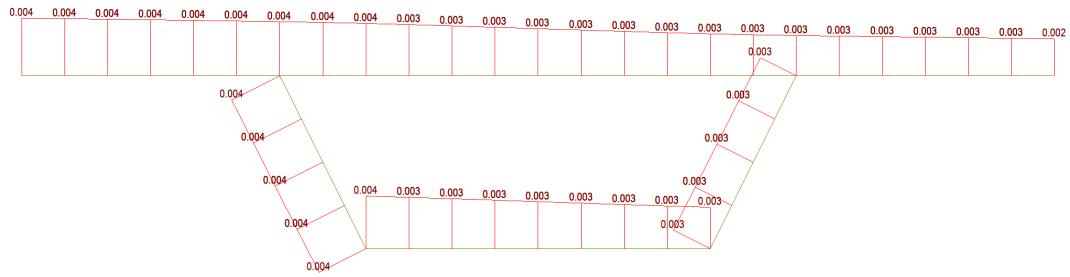


Figura 3.167 - Desplazamiento (m) para $x = 37.5$ m

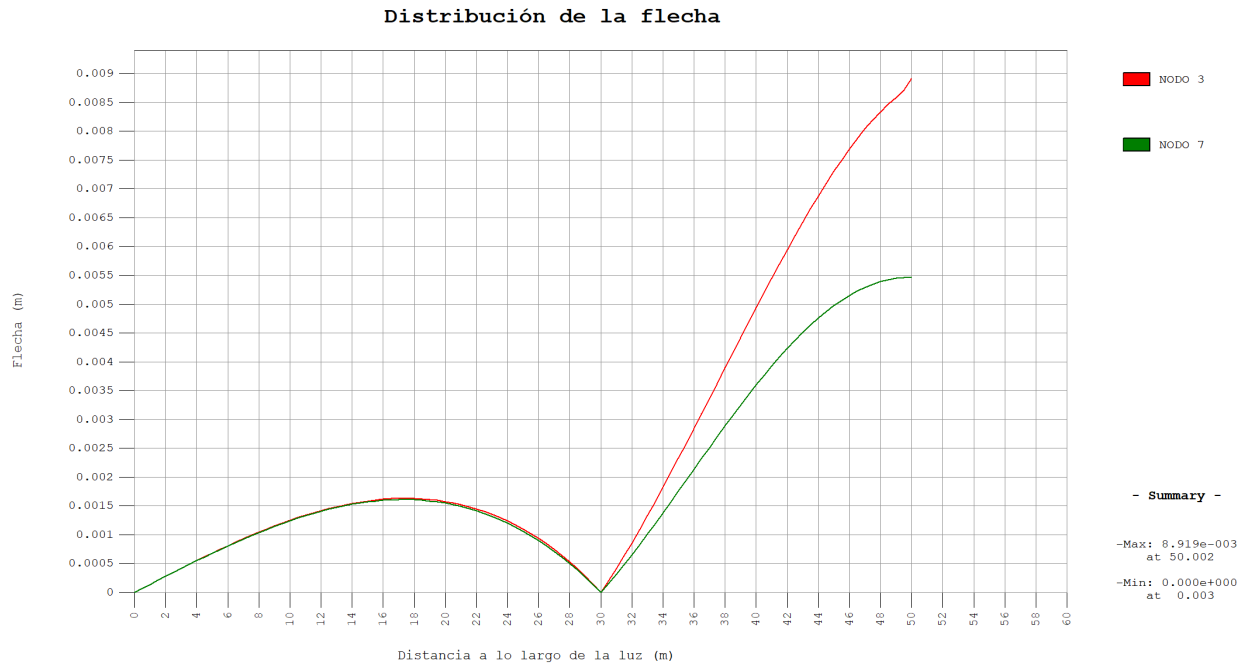


Figura 3.168 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Comparando ambos modelos de 100 m de longitud, con almas rectas e inclinadas en la sección, podemos concluir que el modelo con almas inclinadas presenta desplazamientos algo menores, aunque una distribución igual, en cuanto a forma se refiere. El motivo, principal, es la mayor distorsión de la sección de almas rectas.

3.4.1.2 Distorsión

En la Tabla 3.13, se tienen los ángulos y distorsión de varias secciones a lo largo de la luz. A continuación, en la Figura 3.169 se representa la distorsión.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12.5	0.00033	0.00001	0.00016	0.000003	0.00012	0.000002	0.00023	0.000004	0.00001
25	0.00046	0.00001	0.00060	0.00001	0.00036	0.00001	0.00067	0.00001	0.00002
37.5	0.00470	0.00008	0.01076	0.00019	0.00887	0.00016	0.00455	0.00008	0.00025
40	0.00540	0.00009	0.01636	0.00029	0.01280	0.00022	0.00475	0.00008	0.00034
42.5	0.00537	0.00009	0.02322	0.00041	0.01727	0.00030	0.00414	0.00007	0.00044
45	0.00475	0.00008	0.03113	0.00054	0.02222	0.00039	0.00285	0.00005	0.00053
47.5	0.00401	0.00007	0.03922	0.00069	0.02721	0.00048	0.00129	0.00002	0.00062
50	0.00483	0.00008	0.04412	0.00077	0.03292	0.00058	0.00049	0.00001	0.00072

Tabla 3.13 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

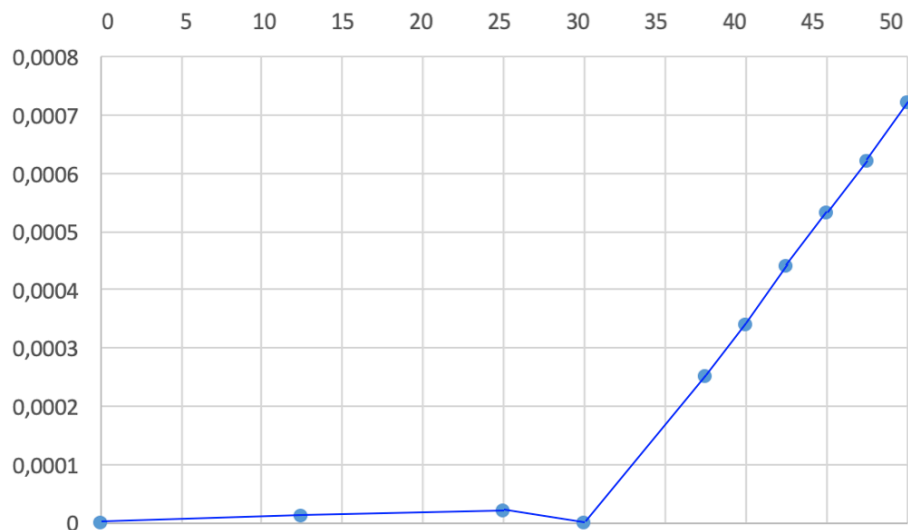


Figura 3.169 - Distribución de la distorsión

Comparando ambos modelos de 100 m de longitud que presentan almas rectas e inclinadas en su sección, podemos afirmar que el modelo con almas inclinadas presenta una distorsión menor, del orden de un tercio.

3.4.1.3 Tensiones

3.4.1.3.1 Tensiones longitudinales

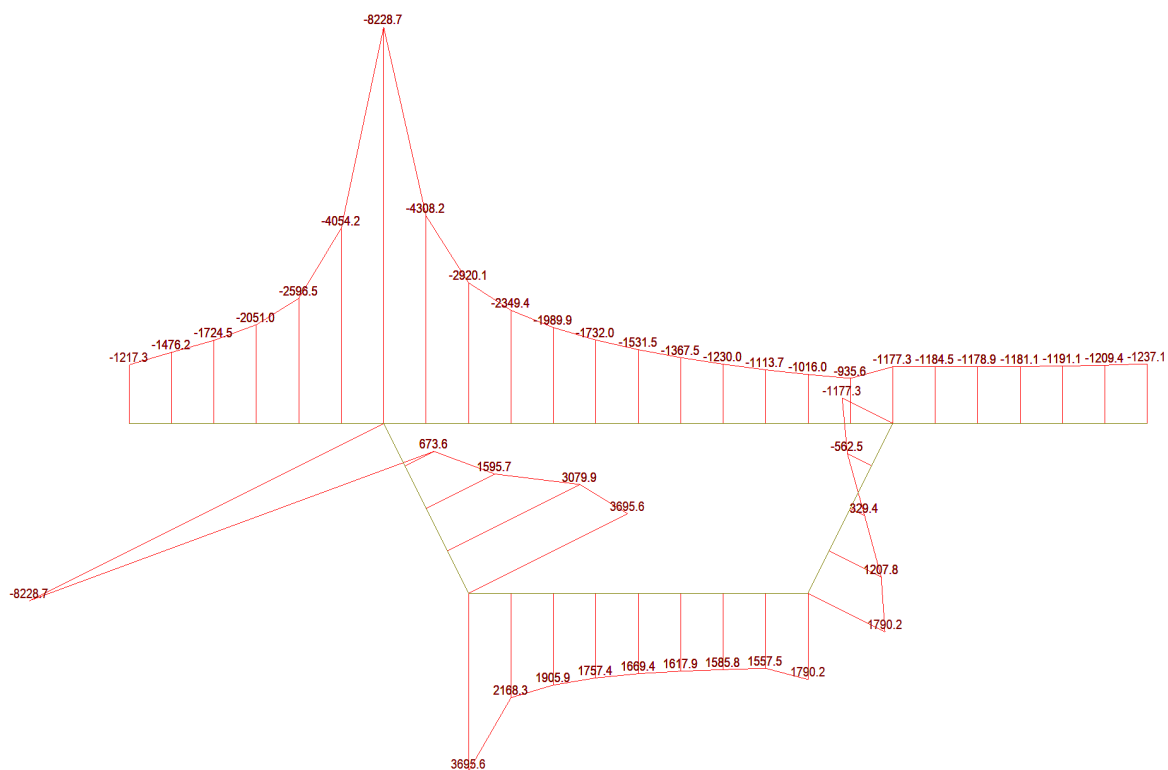


Figura 3.170 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en el centro de la luz ($x = 50$ m)

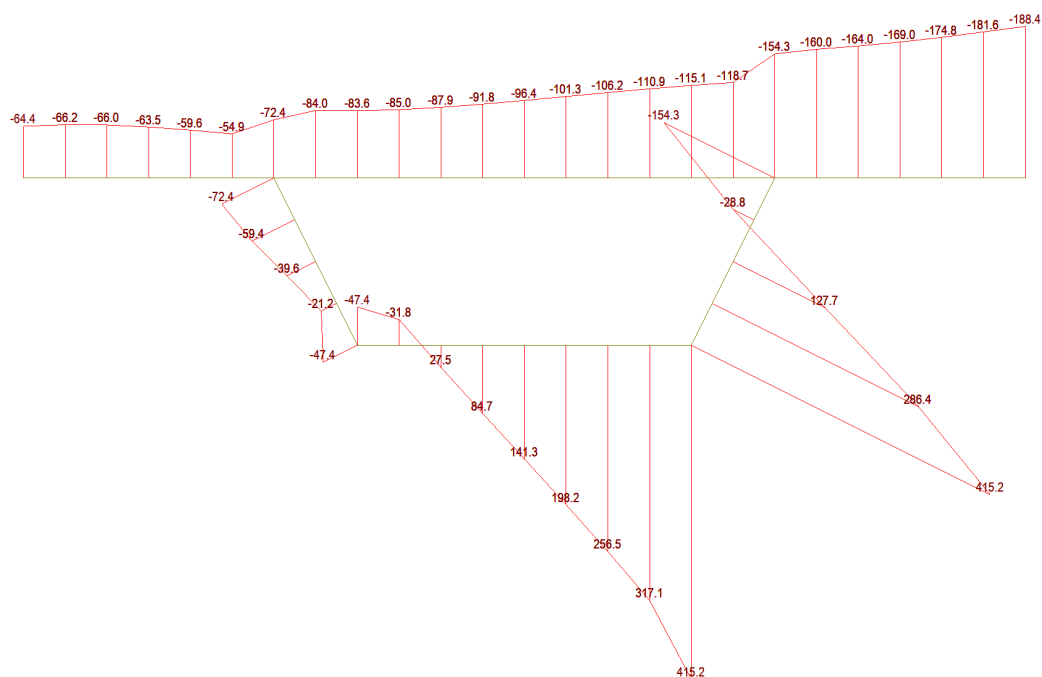


Figura 3.171 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en $x = 37.5$ m

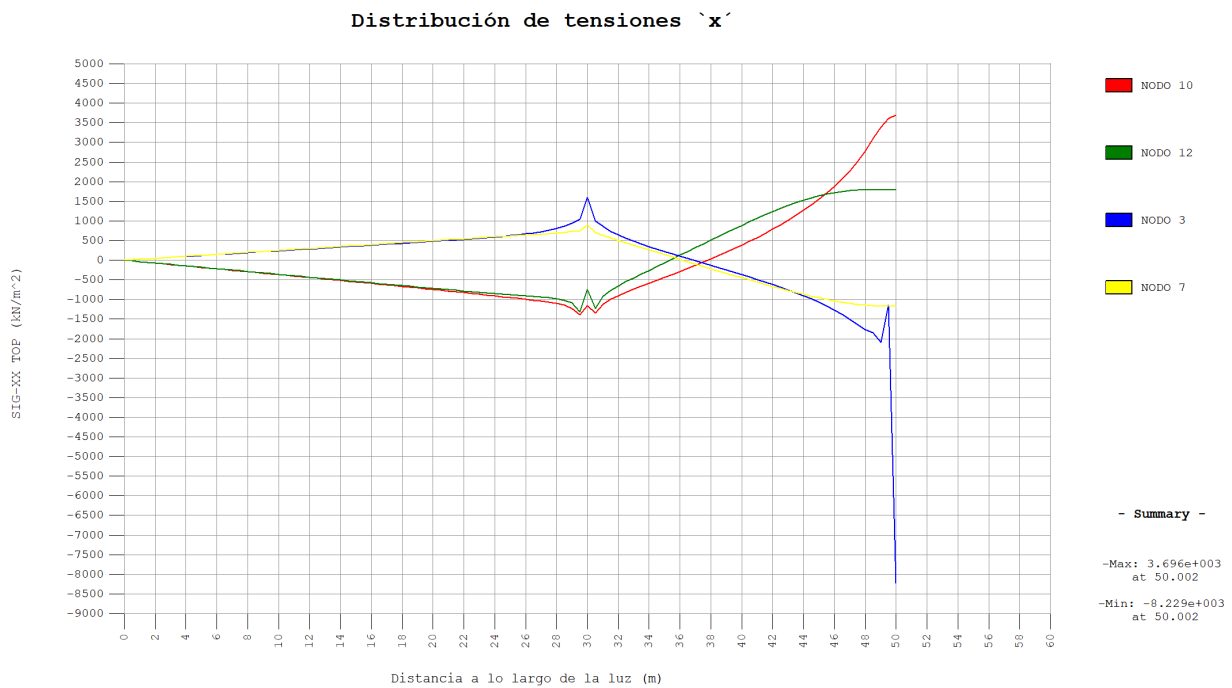


Figura 3.172 - Distribución a lo largo de la luz de σ_{xx} (kN/m²)

La distribución de las tensiones longitudinales es similar al caso de almas rectas, produce cambios similares en los apoyos. De nuevo, la mayor perturbación se produce en el nodo 3, debido a que es la zona donde se aplica la carga puntual. Las tensiones son algo menores en la sección con almas inclinadas por efecto de la distorsión.

3.4.1.3.2 Tensiones tangenciales

Las tensiones tangenciales en las secciones $x = 19.5$ m y $x = 19$ m se muestran en las Figuras 3.173 y 3.174.

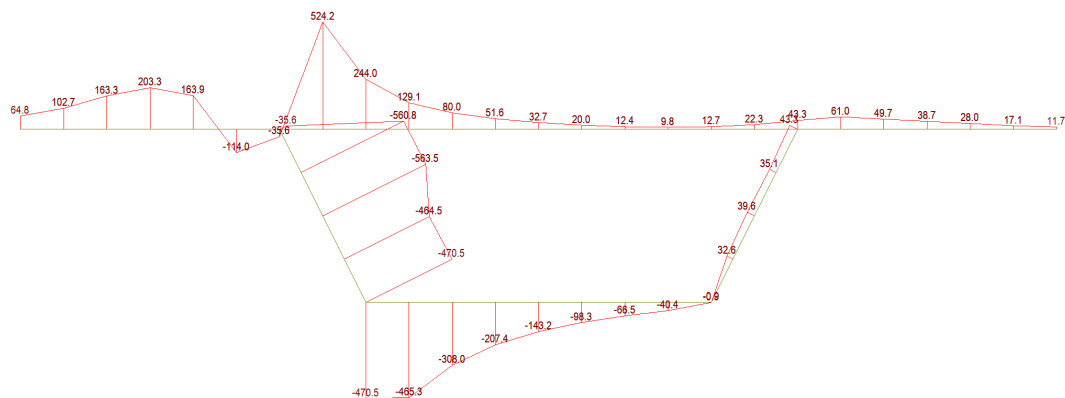


Figura 3.173 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección 48.75 m

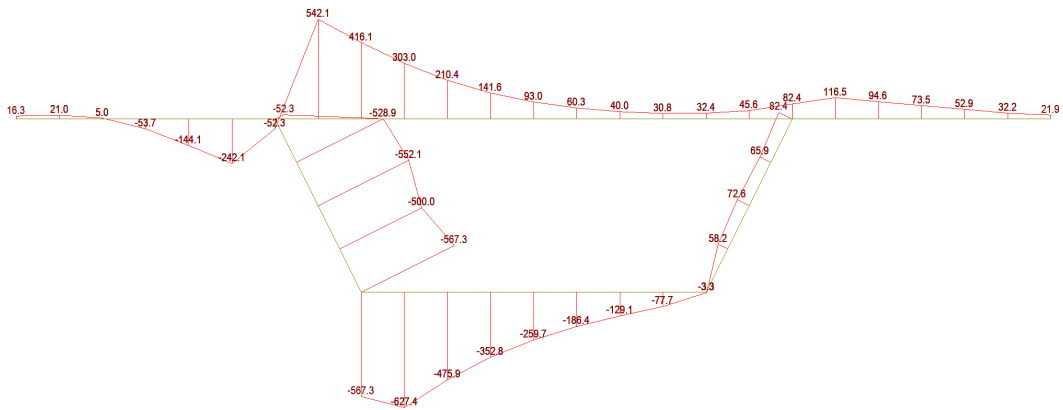


Figura 3.174 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección 47.5 m

Los valores obtenidos son superiores al modelo de 100 m de sección con alas rectas, ya que se redistribuyen más homogéneamente las tensiones debido a la inclinación de las alas

3.4.1.4 Esfuerzos

De forma similar a como venimos comentando, la concentración de tensiones se traduce en la concentración de esfuerzos.

3.4.1.4.1 Momentos flectores transversales

Los momentos flectores en la sección central y en $x = 37.5$ m se representan en las Figuras 3.175 y 3.176.

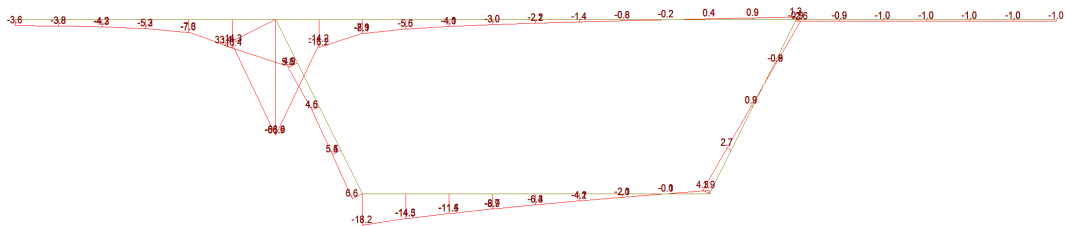


Figura 3.175 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central ($x = 50$ m)

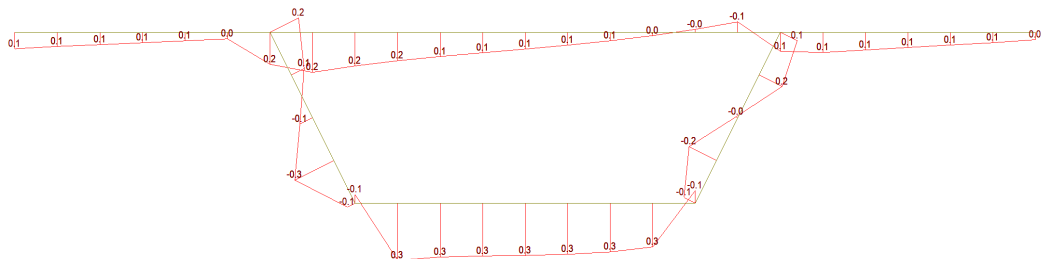


Figura 1.176 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 37.5$ m

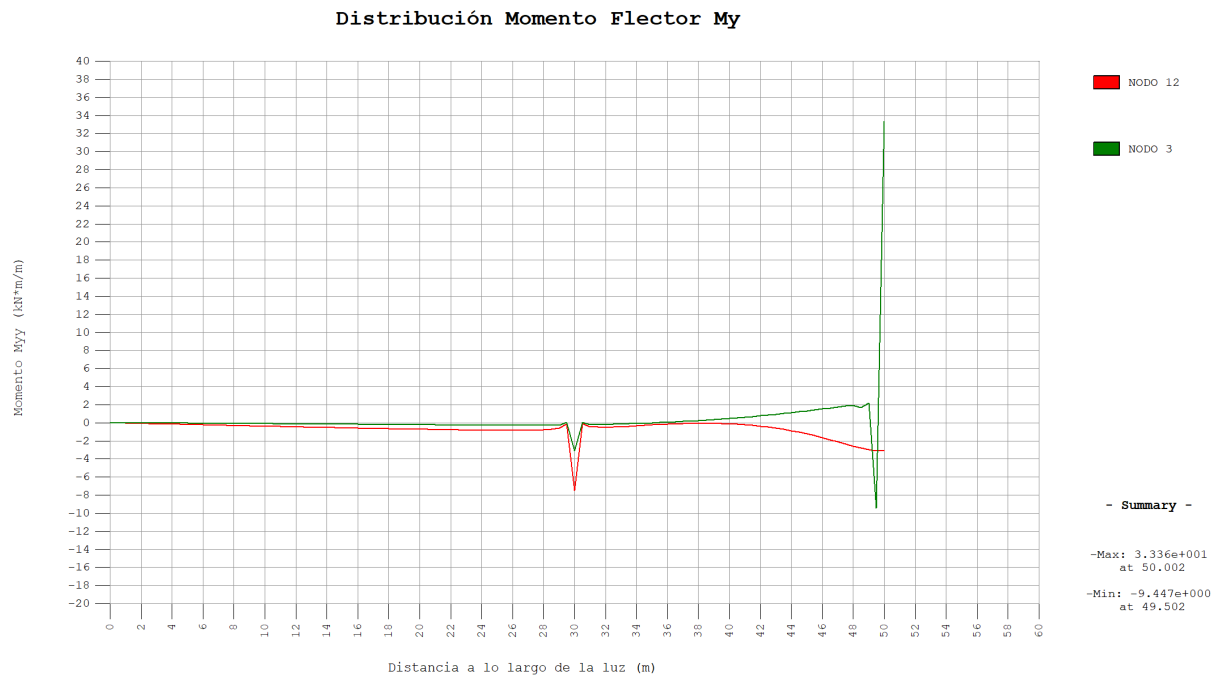


Figura 3.177 - Distribución del Momento flector My (kN.m/m) a lo largo de la luz

Los momentos flectores del modelo de 100 m de longitud con almas inclinadas son menores que el modelo de 100 m de longitud con almas rectas, debido a que la distorsión es menor y los My están asociados en este caso únicamente a la distorsión.

3.4.1.4.2 Esfuerzos cortantes Nxy

De la misma forma que anteriormente, se muestra la sección transversal de la sección. Las perturbaciones se producen en el entorno de $y = -3$ m e $y = 3$ m, ya que es donde se encuentran las almas de la sección y la distribución de esfuerzos cortantes se interrumpe.

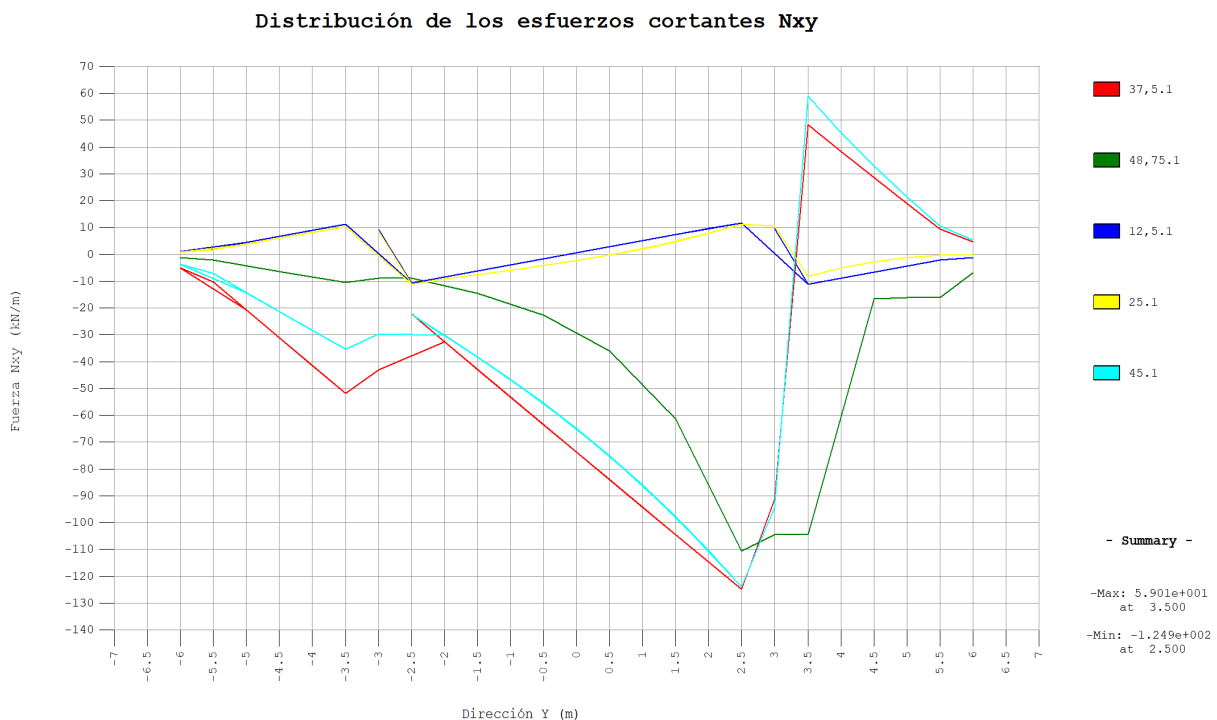
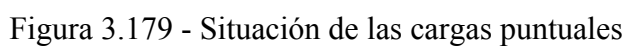


Figura 3.178 - Distribución de los esfuerzos cortantes Nxy (kN/m) en la losa superior

Se estudiará a continuación las variaciones que se producen en los parámetros estudiados anteriormente ante los cambios de posición de la carga puntual de 1000 kN a lo largo de la sección.



Las diferentes situaciones de la carga puntual se pueden visualizar en las flechas de los nodos 3 y 7 en la sección central ($x = 50$ m), Tabla 3.14. El signo positivo, de nuevo, se toma la dirección global de los ejes cartesianos.

Tabla 3.14 - Desplazamientos de los nodos 3 y 7 en la sección central

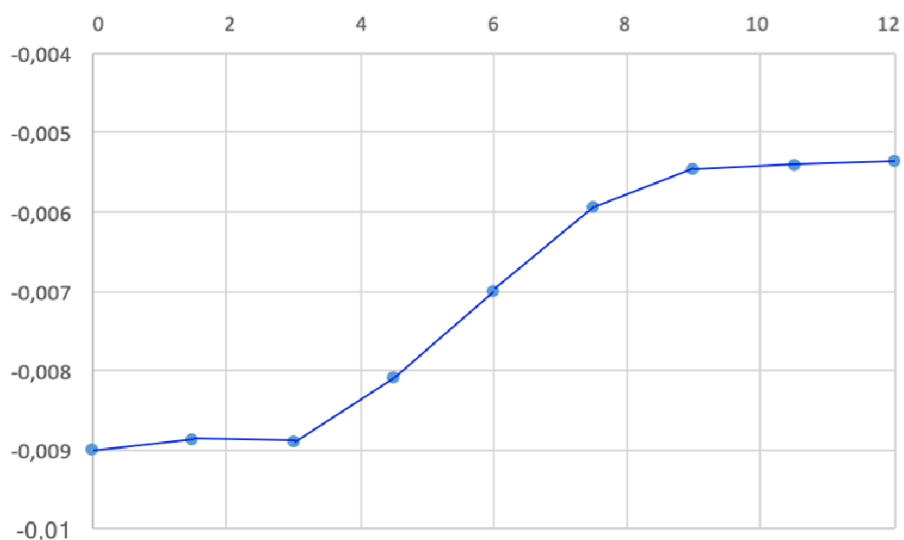


Figura 3.180 - Desplazamiento del nodo 3 según la situación de la carga (m)

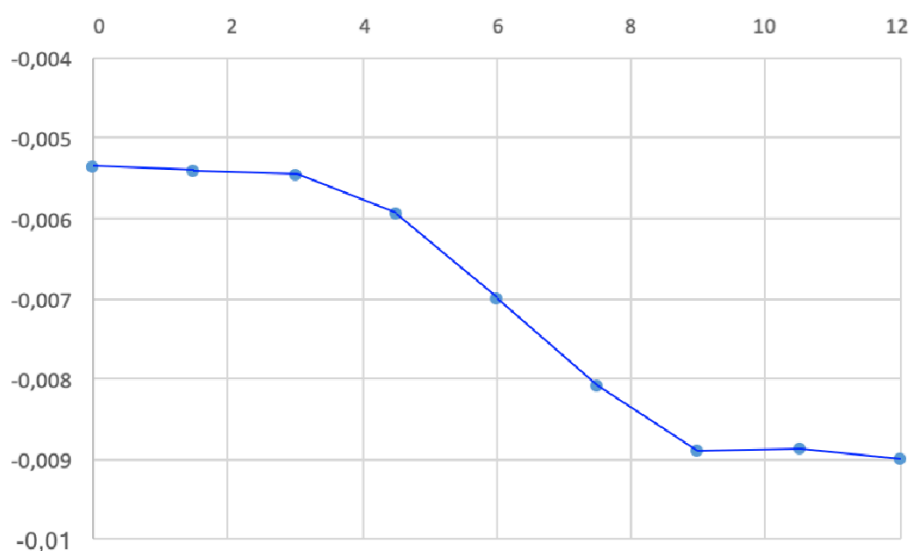


Figura 3.181 - Desplazamiento del nodo 7 según la situación de la carga (m)

En las figuras anteriores se representa la flecha de los nodos 3 y 7 cuando la carga va desplazándose por la dirección transversal de la sección. De nuevo, son simétricos.

Los desplazamientos obtenidos son menores a los obtenidos en el modelo de 40 m de longitud con almas inclinadas.

3.4.1.5.2 Variación en la distorsión

La variación de la distorsión debido a la situación de la carga en la sección central ($x = 50\text{m}$) está representada en la siguiente tabla:

Carga	Distorsión (rad)
1	0.001204
2	0.000957
3	0.000719
4	0.000447
5	0.000000

3.15 - Distorsión sección central

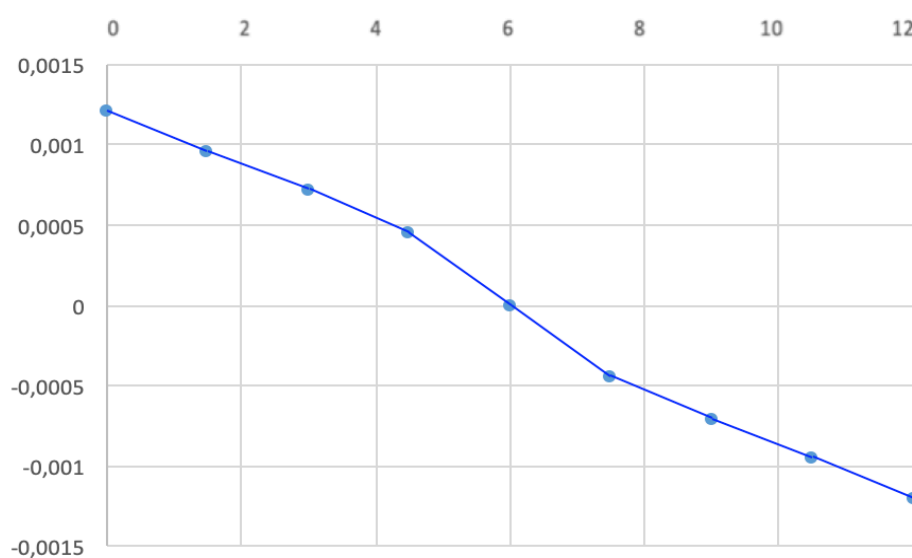


Figura 3.182 - Distorsión en la sección central

La evolución es lineal con la excentricidad de la carga, similar al modelo de 40 m de longitud y almas inclinadas, aunque los valores son menores en el modelo de 100 m de longitud.

Comparando con los modelos que contienen la sección con almas rectas, hay una gran diferencia, ya que la distribución no es lineal en estos casos.

3.4.1.5.3 Variación en las tensiones

A continuación, se muestran las líneas de tendencia de las tensiones longitudinales de la sección central en los nodos 3 y 10, que pertenecen a la losa superior e inferior cuando la carga puntual se desplaza transversalmente.

Del mismo modo que anteriormente, la Figura 3.183 muestra las secciones de interés para el estudio de tensiones y esfuerzos. Las tensiones están expresadas en kN/m^2 .

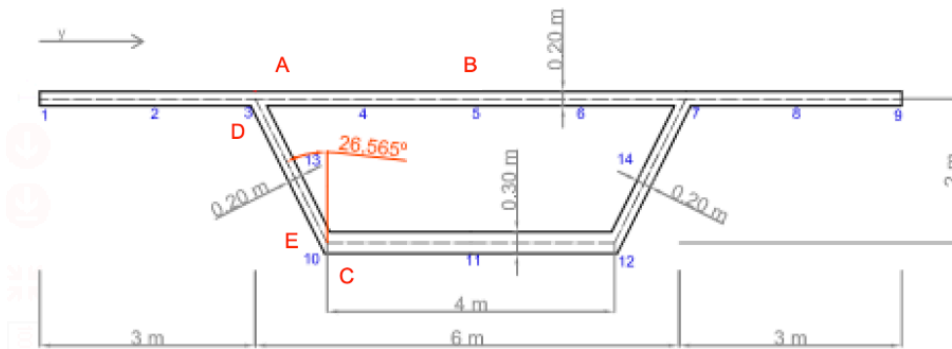


Figura 3.183 - Puntos significativos

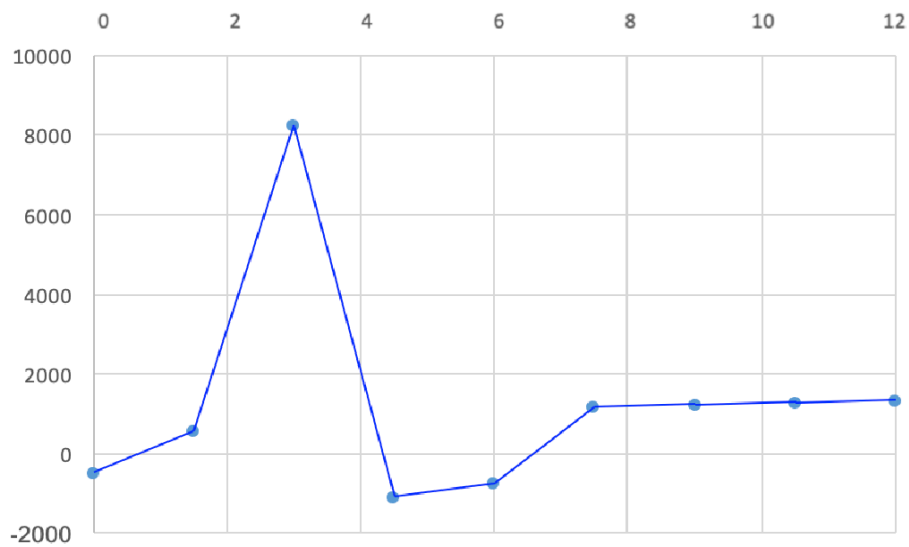


Figura 3.184 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 3 para la sección central

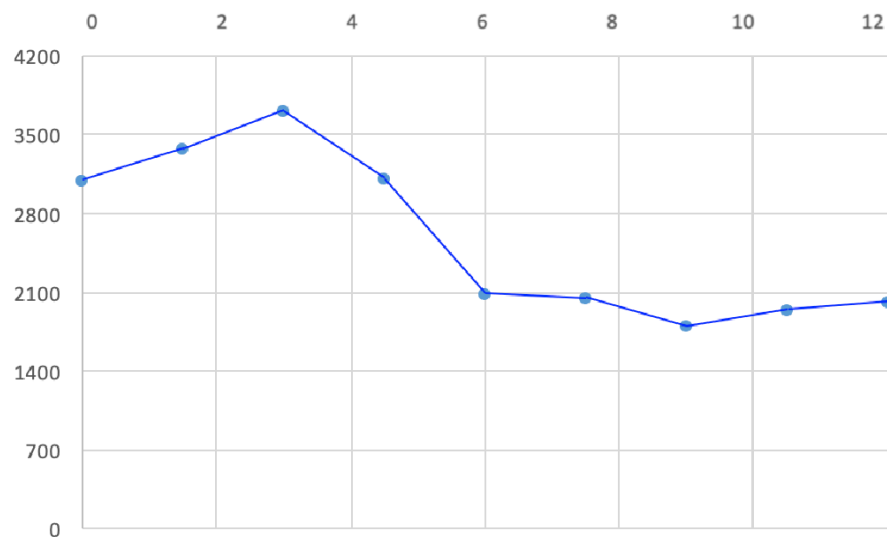


Figura 3.185 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección central

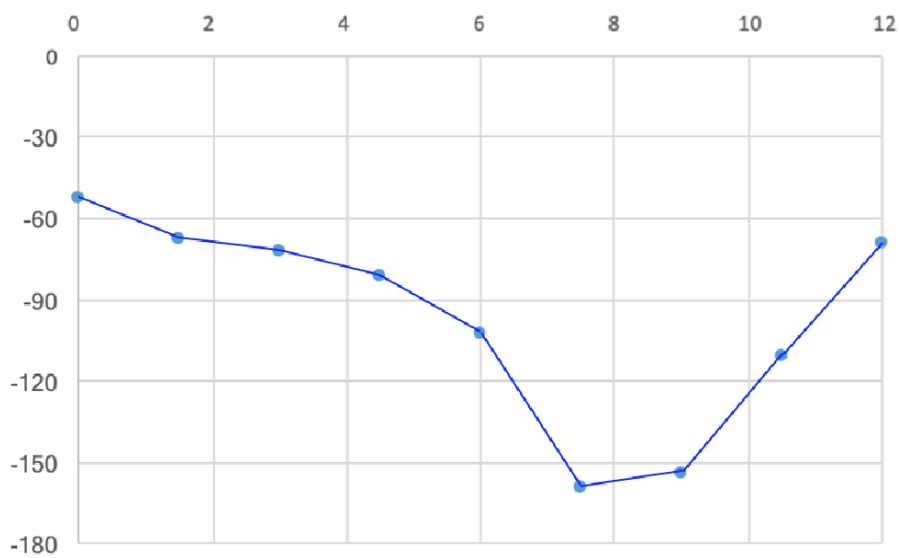


Figura 3.186 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo3 para la sección $x = 37.5$ m

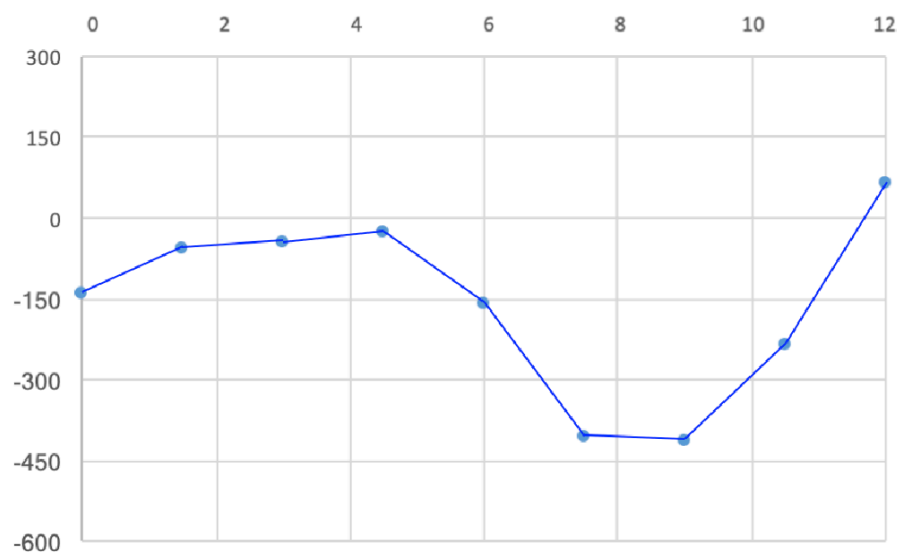


Figura 3.187 - Tensiones longitudinales σ_{xx} en el nodo 10 para la sección $x = 37.5$ m

Comparando ambos modelos de 100 m de longitud, podemos afirmar que hay diferencia, tanto cualitativa como cuantitativa en las tensiones longitudinales.

3.4.1.5.4 Variación en los esfuerzos

Estudiamos la variación de momentos flectores y esfuerzos cortantes en los nodos de mayor interés 3, 5 y 10. Teniendo en cuenta las secciones colindantes (sección A, B, C, D, E y F).

- Momentos flectores

En la sección central es donde aparece con mayor precisión la variación que produce las diferentes posiciones de la carga puntual. En las siguientes figuras se muestran las líneas de influencia de las diferentes secciones. Los esfuerzos están expresados en kN.m/m.

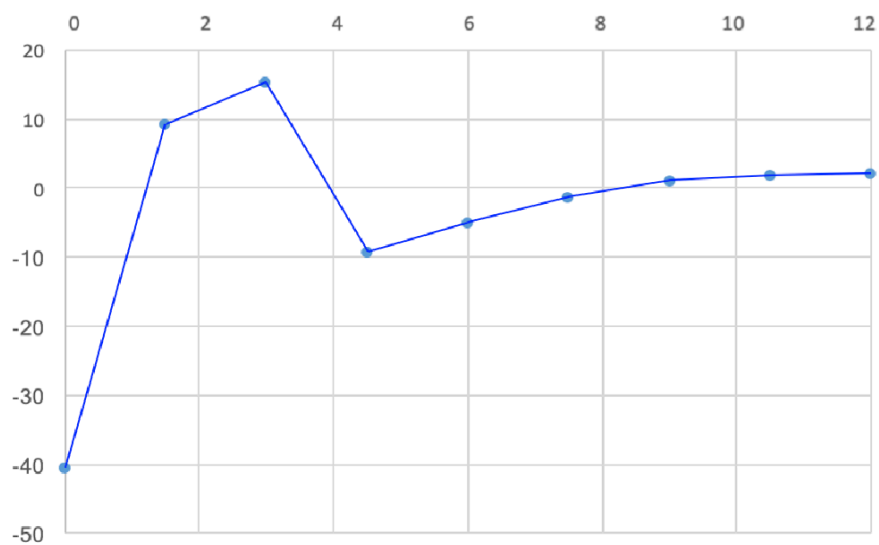


Figura 3.188 - My Sección A

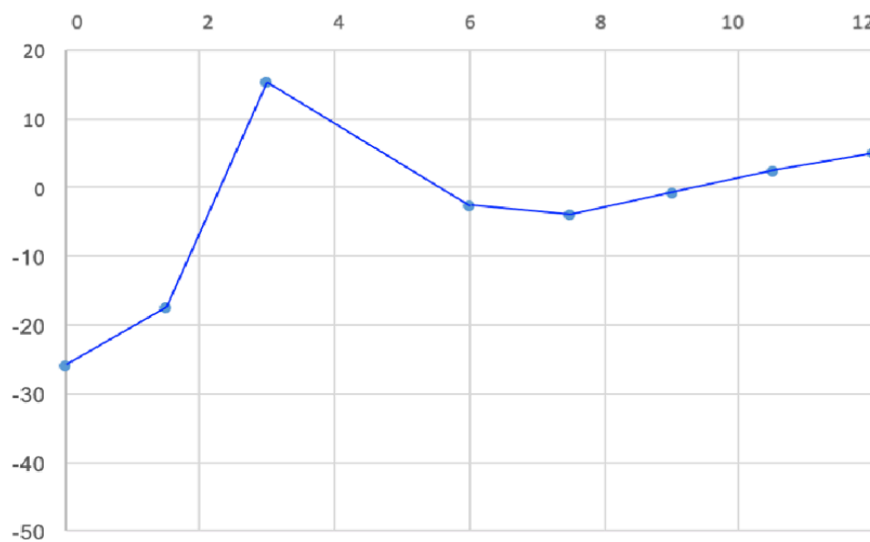


Figura 3.189 - My Sección B

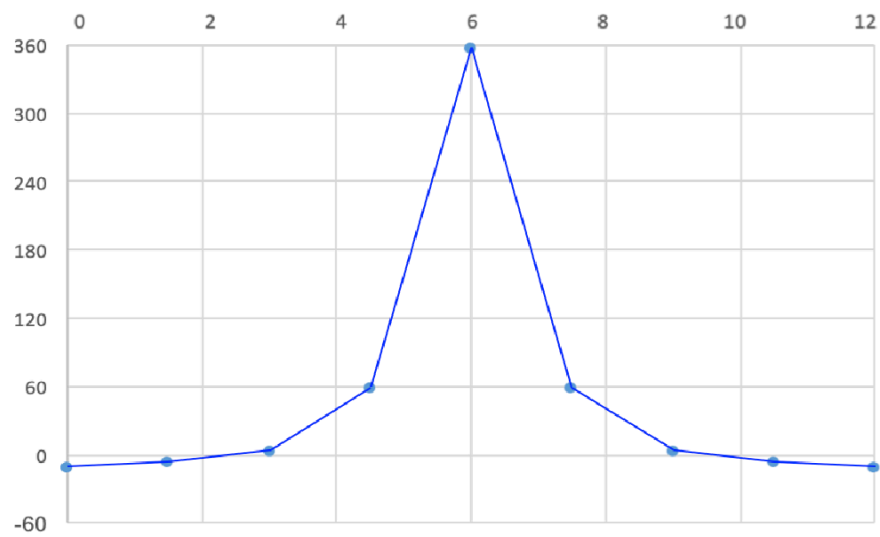


Figura 3.190 - My Sección C

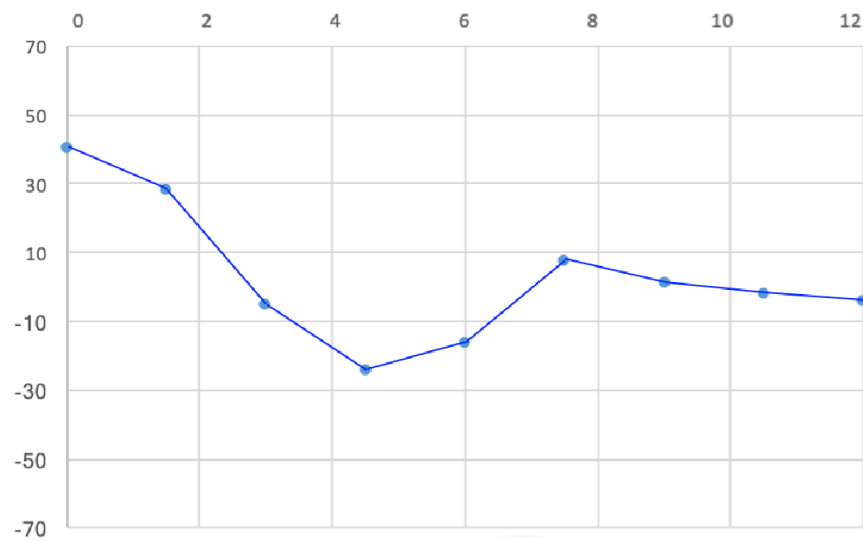


Figura 3.191 - My Sección D

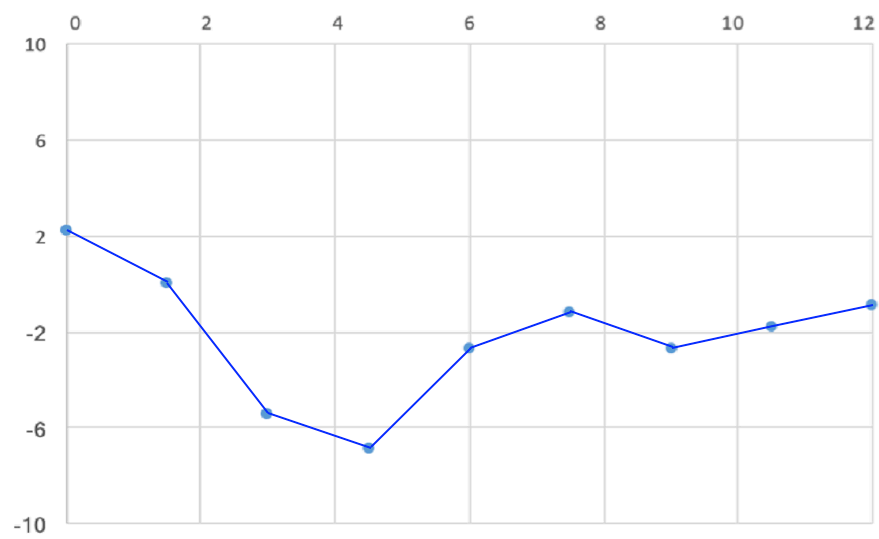


Figura 3.192 - My Sección E

Los valores obtenidos de momentos flectores en comparación con el modelo de 100m de longitud con almas rectas en la sección son algo menores, aunque con la misma forma cualitativamente.

- Esfuerzos axiales

Los esfuerzos axiales N_y se han obtenido en las secciones A, B, C y F. Los mayores esfuerzos se obtienen cuando la carga se encuentra aplicada sobre el alma.

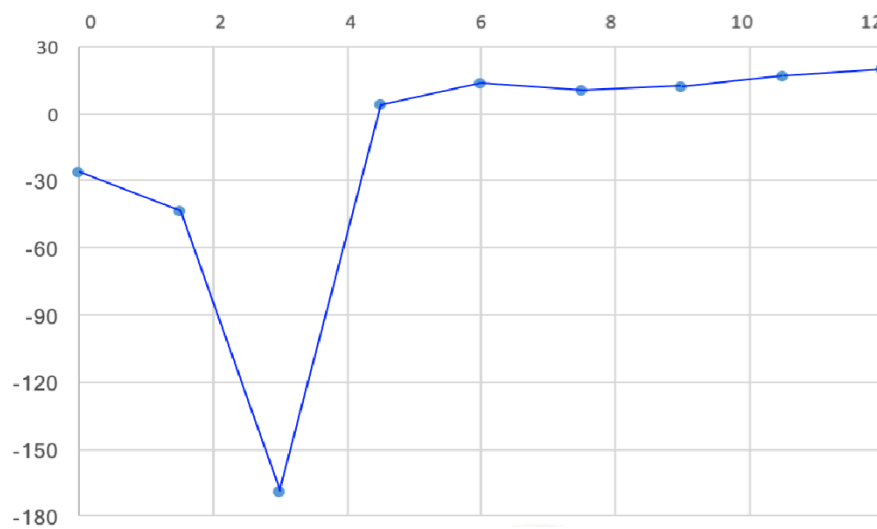


Figura 3.193 - N_y Sección A

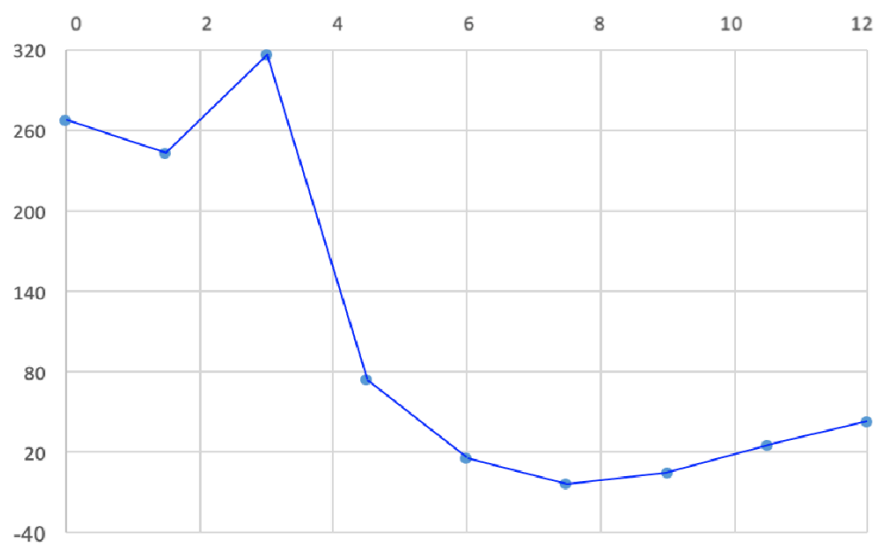


Figura 3.194 - N_y Sección B

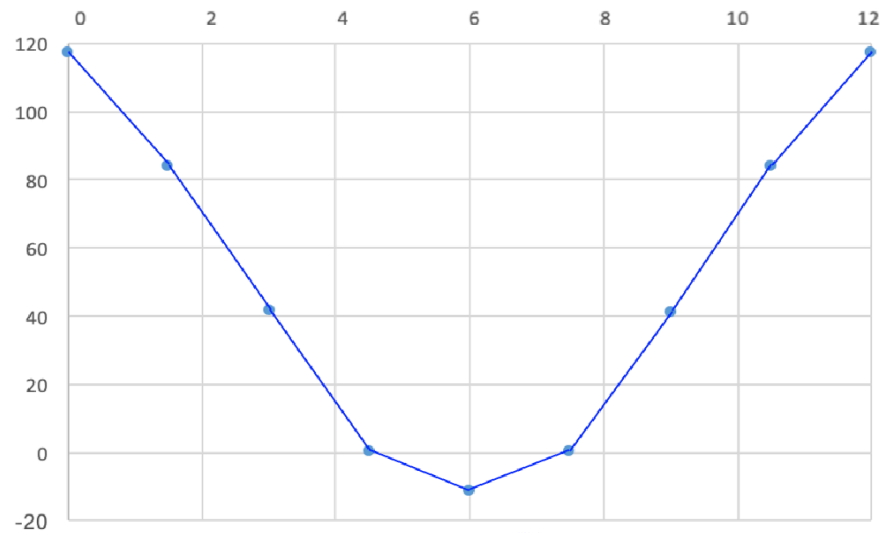


Figura 3.195 - Ny Sección C

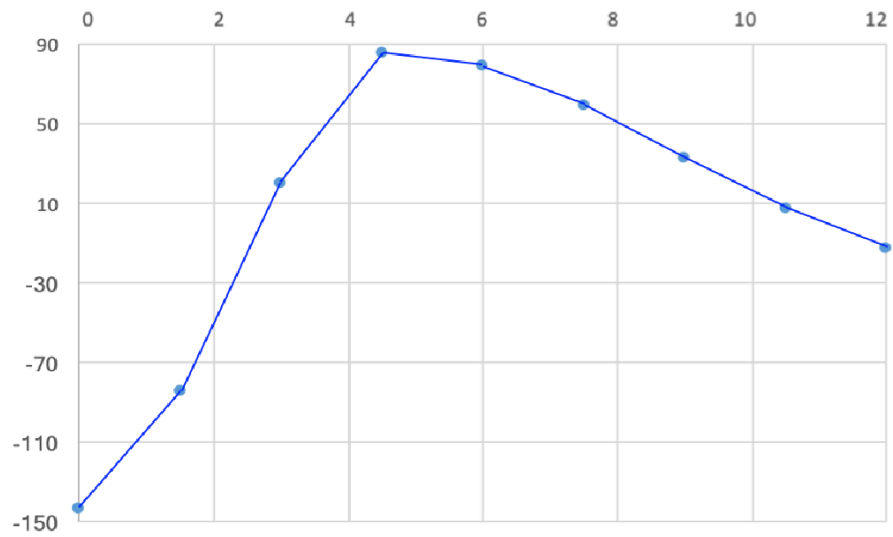


Figura 3.196 - Ny Sección F

Los valores obtenidos son menores que en modelo de 40 m con almas rectas en la sección, aunque siguen líneas de tendencias idénticas. En la losa superior se concentran los mayores esfuerzos.

3.4.2 Respuesta ante cargas distribuidas

Será analizado el modelo con las mismas cargas distribuidas que anteriormente aparecieron. De igual modo, 4 kN/m^2 a lo largo de todo el puente y sobre 6 m en dirección transversal, como se muestra en la Figura 3.197.

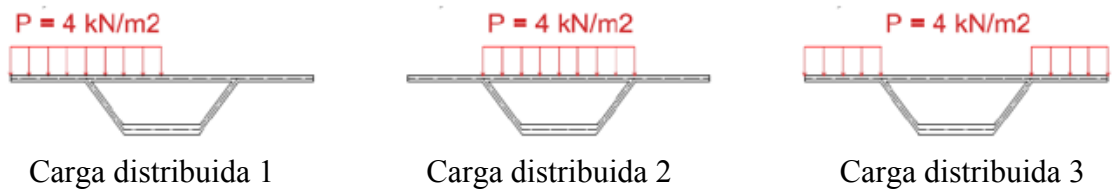


Figura 3.197 - Modelos de cargas distribuidas

3.4.2.1 Desplazamientos

Los desplazamientos de mayor trascendencia se producen por la aplicación de la carga distribuida 1.

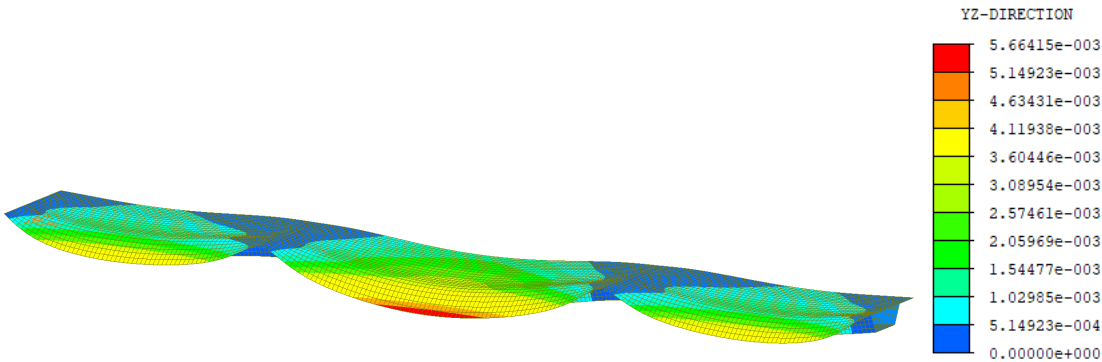


Figura 3.198 - Desplazamiento del modelo (m)

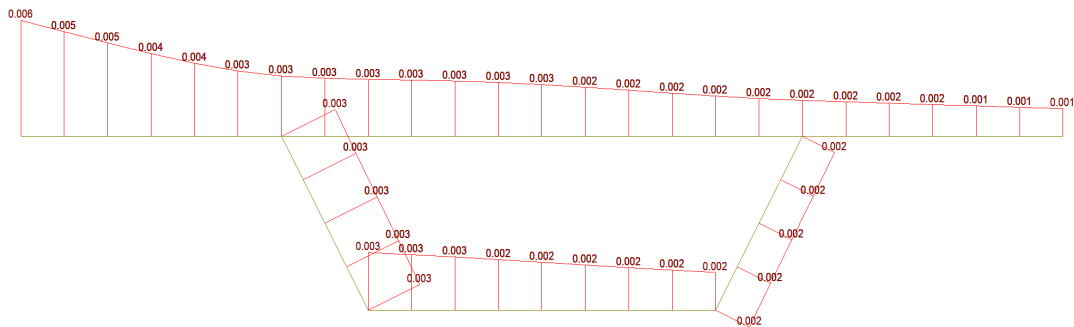


Figura 3.199 - Desplazamiento (m) para $x = 50 \text{ m}$

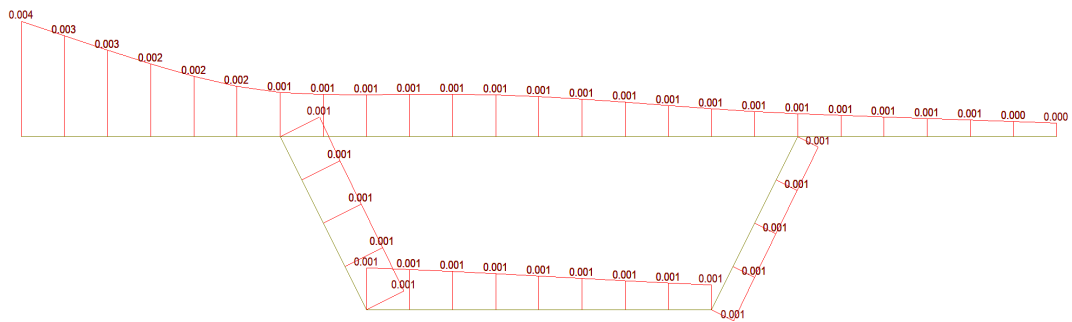


Figura 3.200 - Desplazamientos (m) para $x = 37.5$ m

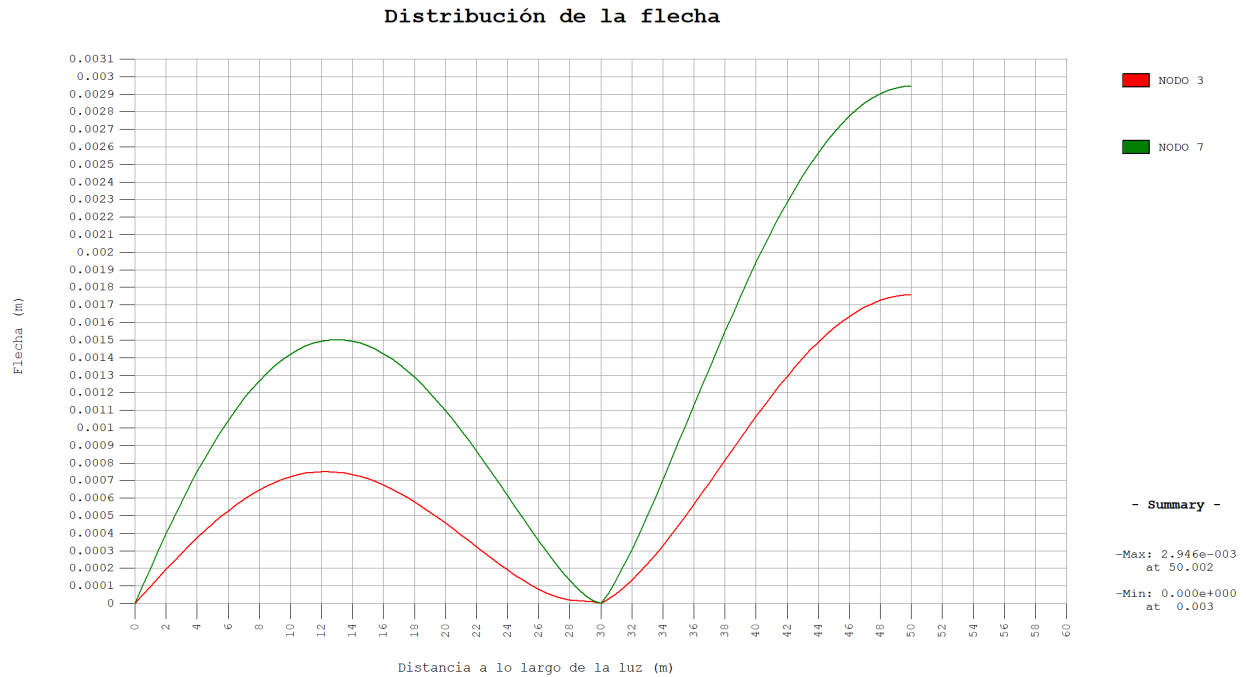


Figura 3.201 - Distribución de las flechas a lo largo de la luz en los nodos 3 y 7

Los desplazamientos del modelo de 100 m con almas inclinadas son similares al modelo de 100m con almas rectas.

Respecto al modelo de 40 m de longitud con almas inclinadas, el modelo de 100 m presenta unos desplazamientos que son bastante menores.

En la Figura 3.201, aparece las flechas de los nodos 3 y 7 a lo largo de la luz, presentando una distribución similar al modelo de 100 m con almas rectas, presentando ambos modelos la perturbación en $x = 30$ m debido a la presencia de un apoyo. Observando la Figura 3.127, de la distribución de las flechas del modelo de 40 m, las flechás máximas de los nodos 3 y 7 son del orden de 3 veces superiores.

3.4.2.2 Distorsión

La carga distribuida 1 es la única que presenta una distorsión notable.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12.5	0.00033	0.00001	0.00016	0.000003	0.00012	0.000002	0.00023	0.000004	0.00001
25	0.00046	0.00001	0.00060	0.00001	0.00036	0.00001	0.00067	0.00001	0.00002
37.5	0.00470	0.00008	0.01076	0.00019	0.00887	0.00016	0.00455	0.00008	0.00025
40	0.00540	0.00009	0.01636	0.00029	0.01279	0.00022	0.00475	0.00008	0.00034
42.5	0.00537	0.00009	0.02322	0.00041	0.01727	0.00030	0.00414	0.00007	0.00044
45	0.00475	0.00008	0.03112	0.00054	0.02222	0.00039	0.00285	0.00005	0.00053
47.5	0.00401	0.00007	0.03922	0.00069	0.02721	0.00048	0.00129	0.00002	0.00063
50	0.00483	0.00008	0.04412	0.00077	0.03292	0.00058	0.00049	0.00001	0.00072

Tabla 3.16 - Ángulos y distorsión a lo largo de la luz

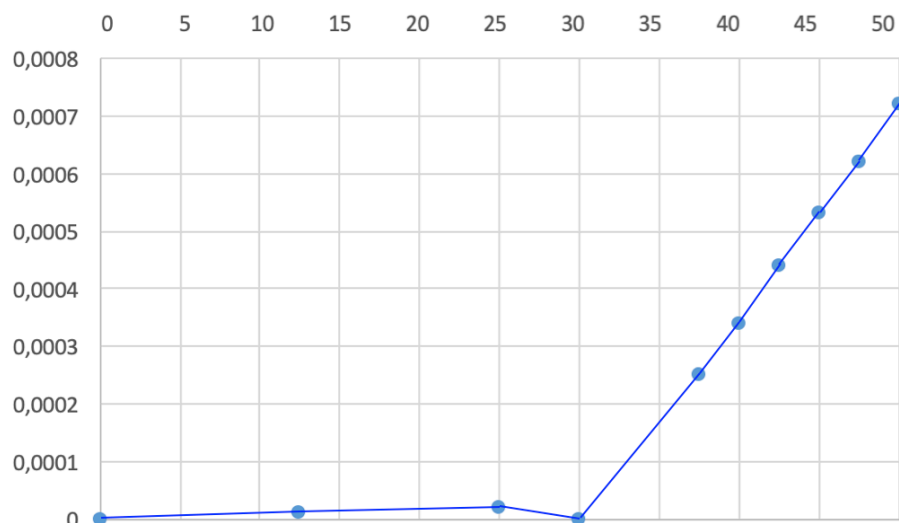


Figura 3.202 - Distribución de la distorsión con carga distribuida 1

La distorsión que se presenta en la figura 3.202 es el doble de la que aparecía del modelo de 40m con almas inclinada.

La distorsión que presenta el modelo de 100 m de longitud con almas rectas presenta una distorsión un 40% menor.

3.4.2.3 Tensiones

3.4.2.3.1 Tensiones longitudinales

En las Figuras 3.203, 3.204 y 3.205 aparecen las tensiones longitudinales en la sección central cuando se somete al modelo a las cargas distribuidas 1, 2 y 3.

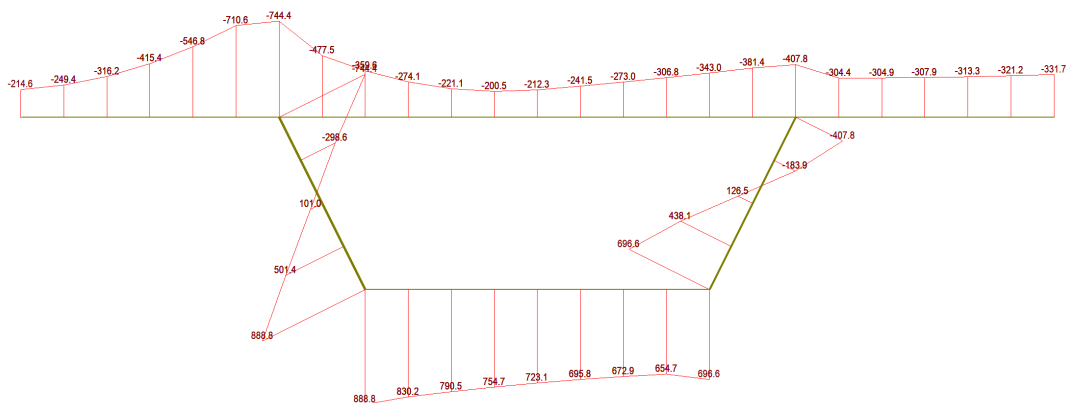


Figura 3.203 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist.1 en el centro de la luz (x = 50 m)

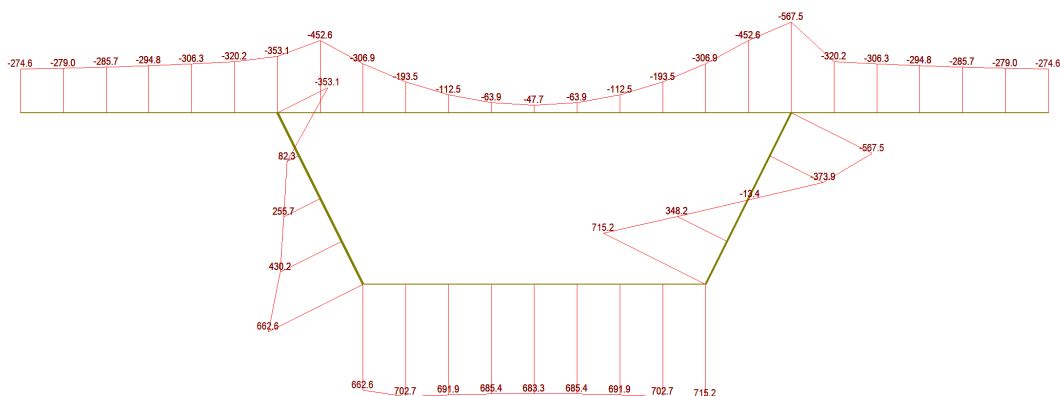


Figura 3.204 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist.2 en el centro de la luz (x = 50 m)

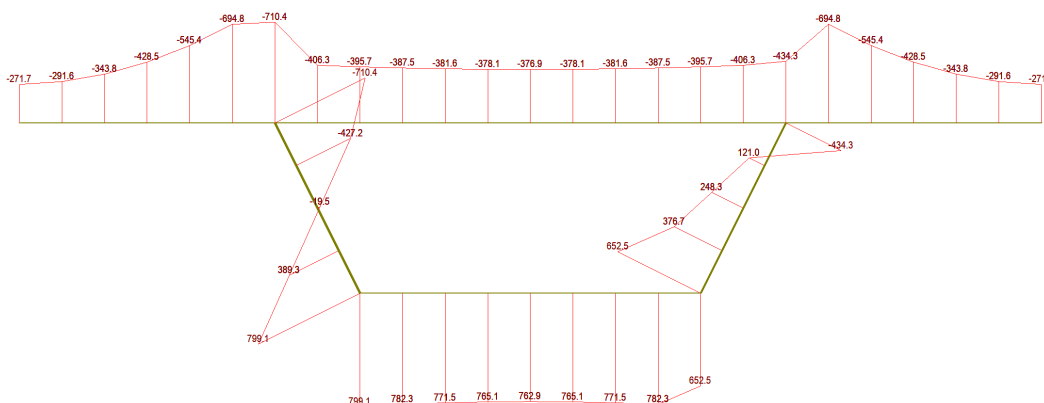


Figura 3.205 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) para Carga Dist.3 en el centro de la luz (x = 50 m)

Comparando con el modelo de 100 m con almas rectas, el modelo que se está estudiando presenta, en general, tensiones menores.

Comparando con el modelo de 40 m con almas inclinadas, las tensiones longitudinales que presenta el modelo que se está analizando son bastante menores.

3.4.2.3.2 Tensiones tangenciales



Figura 3.206 - Distribucion de τ_{xy} (kN/m^2) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 48.75$ m

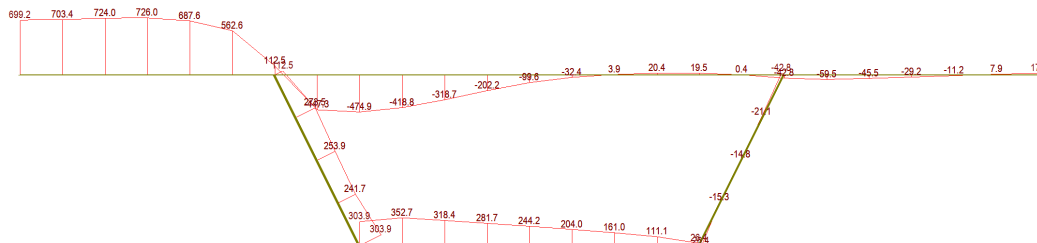


Figura 3.207 - Distribucion de τ_{xy} (kN/m^2) para Carga Dist. 1 en la sección $x = 0$ m

Al no existir cargas puntuales, no existe redistribución de tensiones, se traduce, en que en la sección $x = 48.75$ m se obtiene unos valores de tensiones tangenciales significativamente menores a los obtenidos en casos bajo carga puntual. Bajo cargas distribuidas, la distribución de los esfuerzos cortantes se produce en la sección de los extremos, Figura 3.206.

Los valores de tensiones tangenciales del modelo de 100 m son menores que los obtenidos en el modelo de 40 m, ambos con las almas de la sección inclinadas.

3.4.2.4 Esfuerzos

3.4.2.4.1 Momentos flectores transversales

La distribución de los momentos flectores transversales, M_y , para las tres cargas distribuidas en la sección central, la más desfavorable, y a 12.5m de distancia, es decir, $x = 37.5$ m, se presenta en las figuras que vienen:

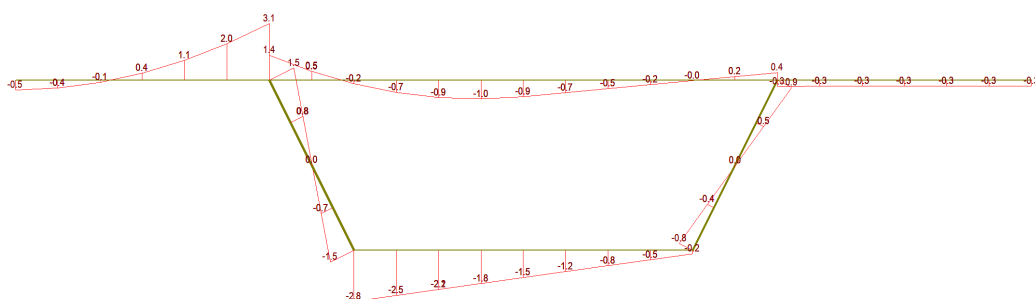


Figura 3.208 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 1

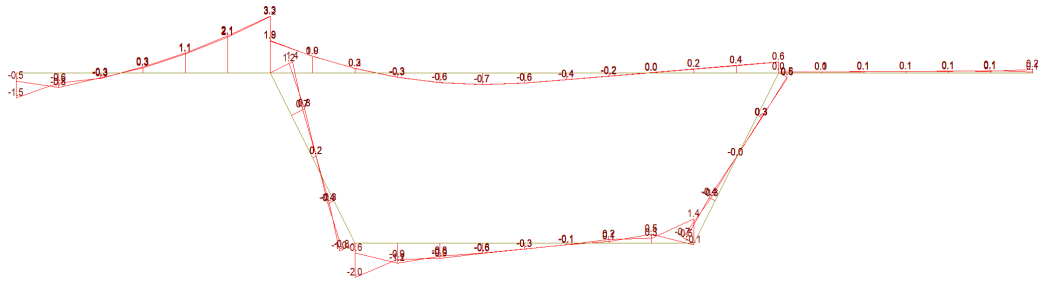


Figura 3.209 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 37.5$ m para la C. Dist 1

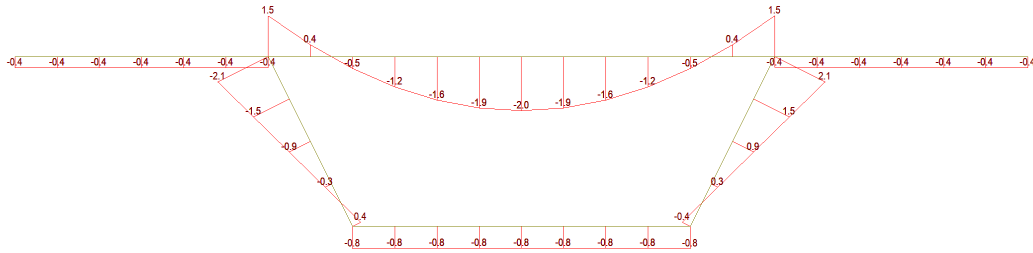


Figura 3.210 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 2

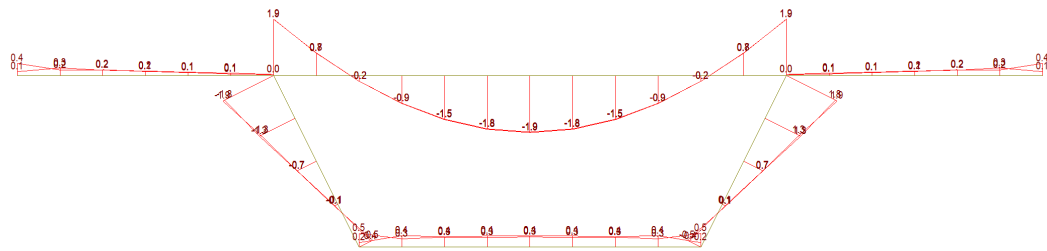


Figura 3.211 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 37.5$ m para la C. Dist 2

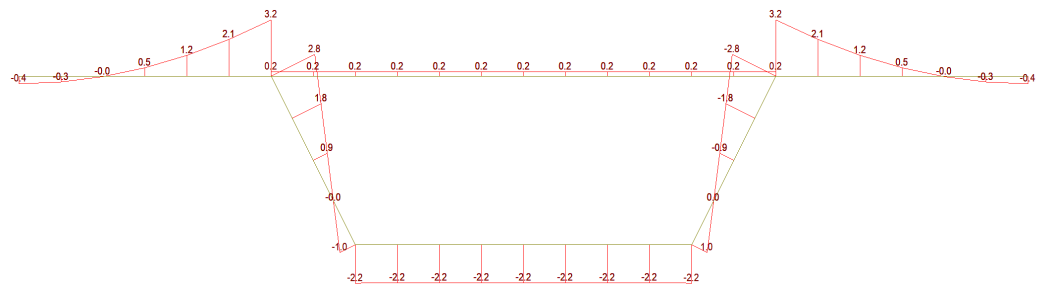


Figura 3.212 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central para la C. Dist 3

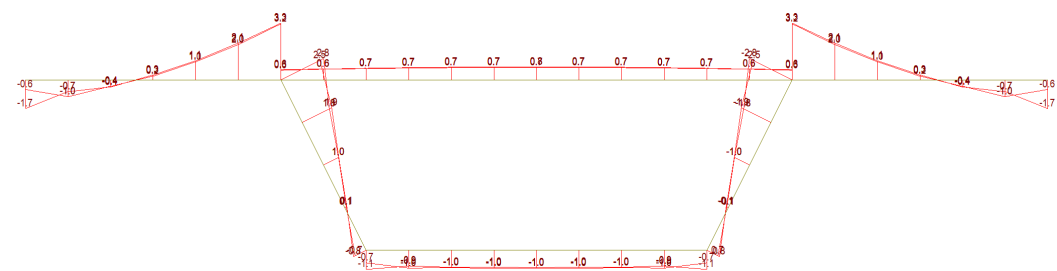


Figura 3.213 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección $x = 37.5$ m para la C. Dist 3

Las distribuciones de los momentos flectores M_y en ambos modelos de 100 m de longitud son similares, independientemente de la inclinación de las almas. En comparación con el modelo de 40 m de longitud con almas inclinadas, la diferencia de valores y forma es mínima.

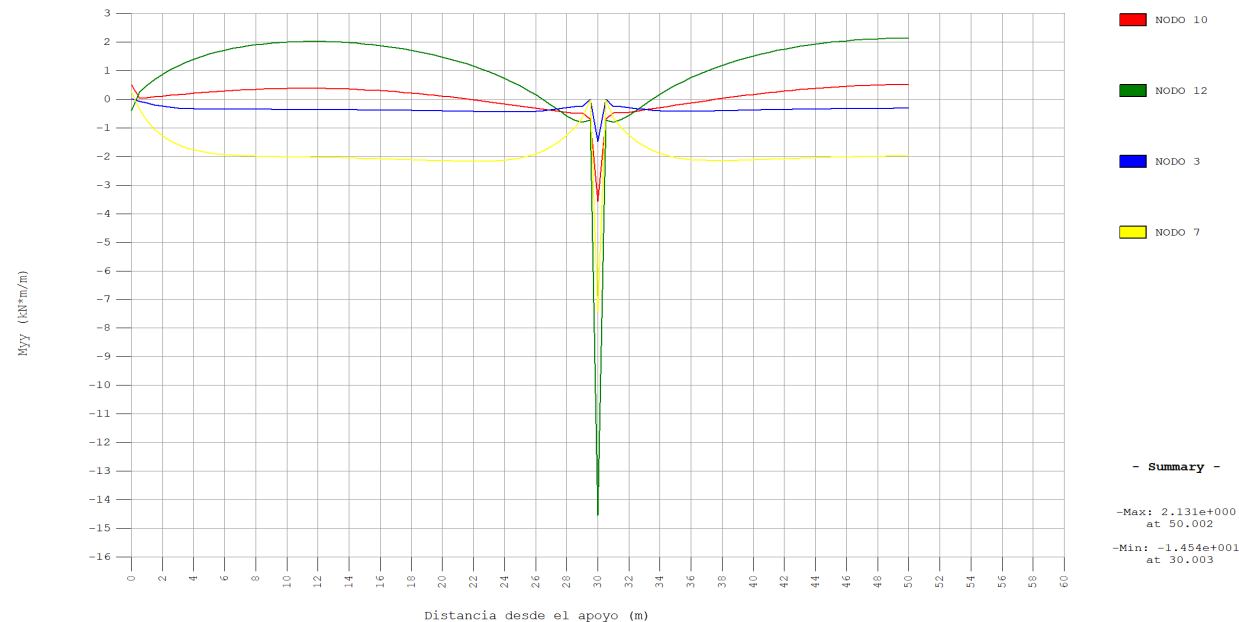


Figura 3.214 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 1

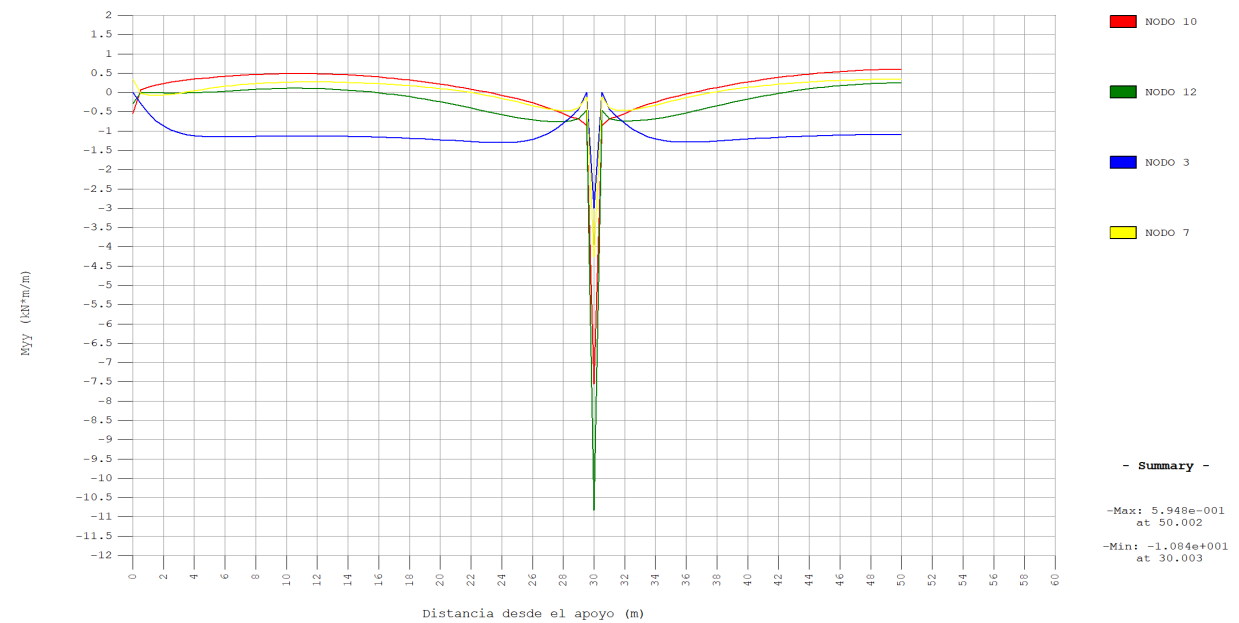


Figura 3.215 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 2

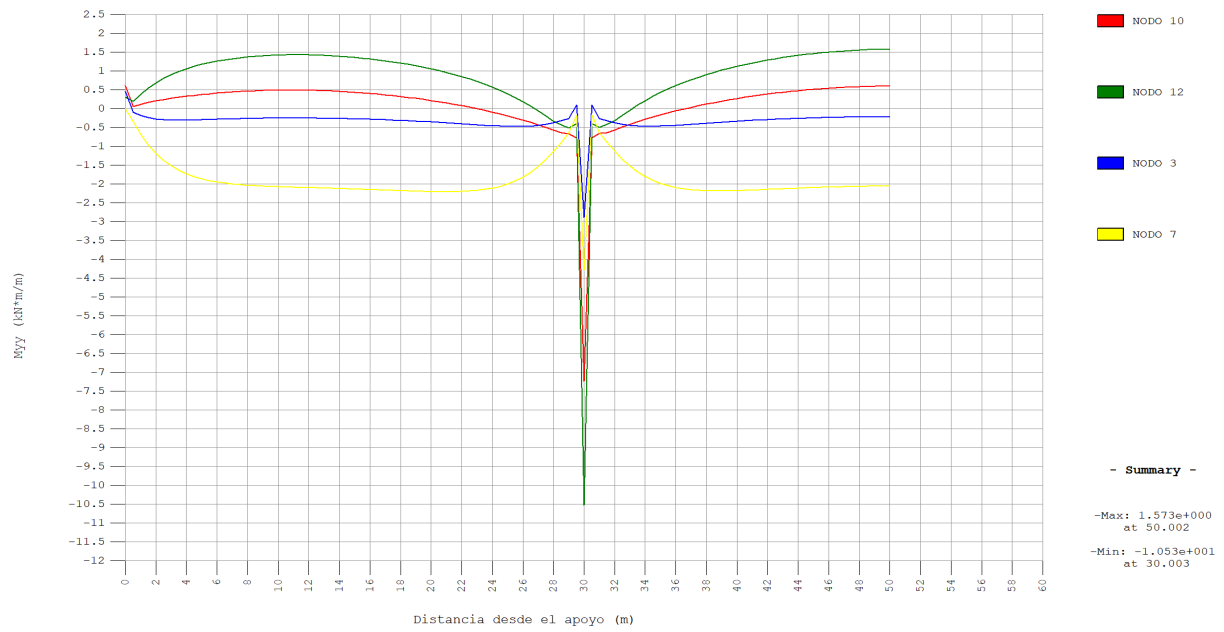


Figura 3.216 - Distribución del Momento Flector M_y (kN.m/m) para la C. Dist 3

3.4.2.4.2 Esfuerzos cortantes

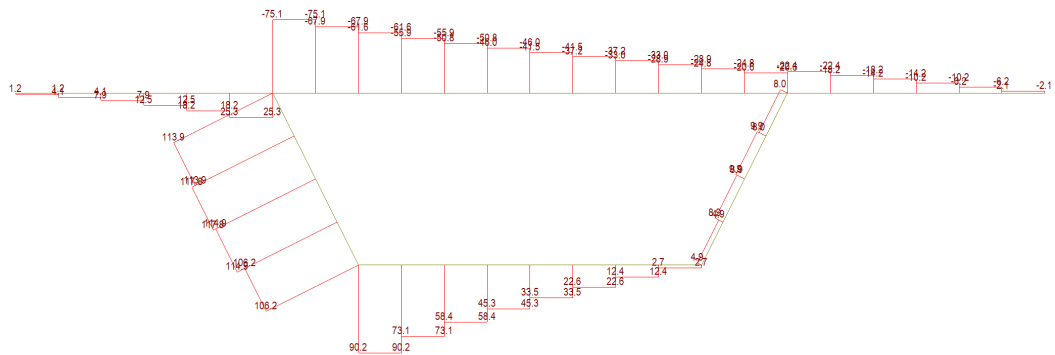


Figura 3.217 - Distribución del Cortante N_{xy} en la sección del apoyo ($x = 0 \text{ m}$) para la C. Dist 1

4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Finalizado el estudio comparativo entre la viga cajón de 40 metros de longitud y la viga de 100 metros, tanto con almas rectas como inclinadas en sus secciones, ante la aplicación de una determinada carga puntual en diferentes posiciones de la losa superior y 3 disposiciones de cargas distribuidas, se han obtenido las primeras diferencias y similitudes entre ambos modelos.

En este Capítulo 4, el análisis se ampliará para vigas cajón de 60 y 80 metros de longitud, que ayudarán a completar y añadir la influencia de la longitud de las vigas, así como de la inclinación de las almas de sus secciones, ante los parámetros de desplazamientos, distorsiones, tensiones y esfuerzos.

4.1 Definición del análisis

La base del análisis es la influencia de la longitud de vanos de secciones tipo cajón con almas rectas e inclinadas en los parámetros de la sección, para ello se realizará una comparación de varios modelos estudiando los resultados.

La realización del análisis ha sido realizada teniendo en cuenta:

- Se han realizado 8 modelos, cuyos detalles aparecen en el Capítulo 2, al igual que las geometrías, y sus características mecánicas definidas en el Apartado 2.2. Los modelos varían su longitud de los 40 a los 100 metros.
- Para la realización del estudio se ha tenido en cuenta una carga principal de 1000 kN, situada en la sección central del puente.

Además de la carga anteriormente citada, se han obtenido resultados para otras cargas con el fin de obtener resultados correctos y representativos para cualquier carga.

4.2 Desplazamientos

De forma previa, hay una gran diferencia en los valores máximos de los desplazamientos del puente si existen apoyos entre los extremos. Así los valores de los modelos de 40m de longitud está desacoplado, aunque relacionados con el resto de modelos.

En principio, se representan los desplazamientos de cada modelo de forma global. Se mostrarán también los desplazamientos de la sección central de cada modelo, ya que es donde está aplicada la carga puntual, y donde los valores serán mayores. Finalmente, se observa la distribución a lo largo de la longitud del vano de los nodos 3 y 7.

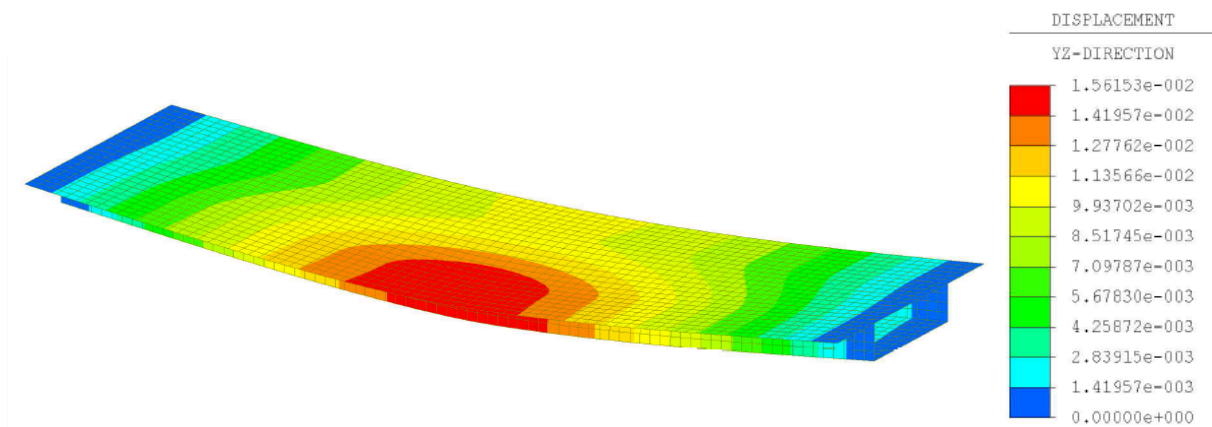


Figura 4.1 - Desplazamientos globales (m). Modelo 1 almas rectas

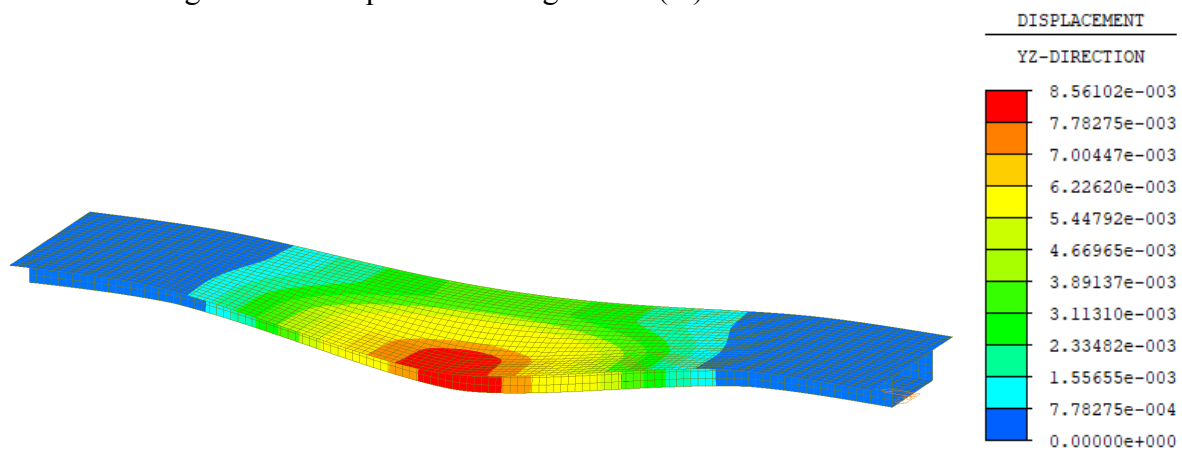


Figura 4.2 - Desplazamientos globales (m). Modelo 2 almas rectas

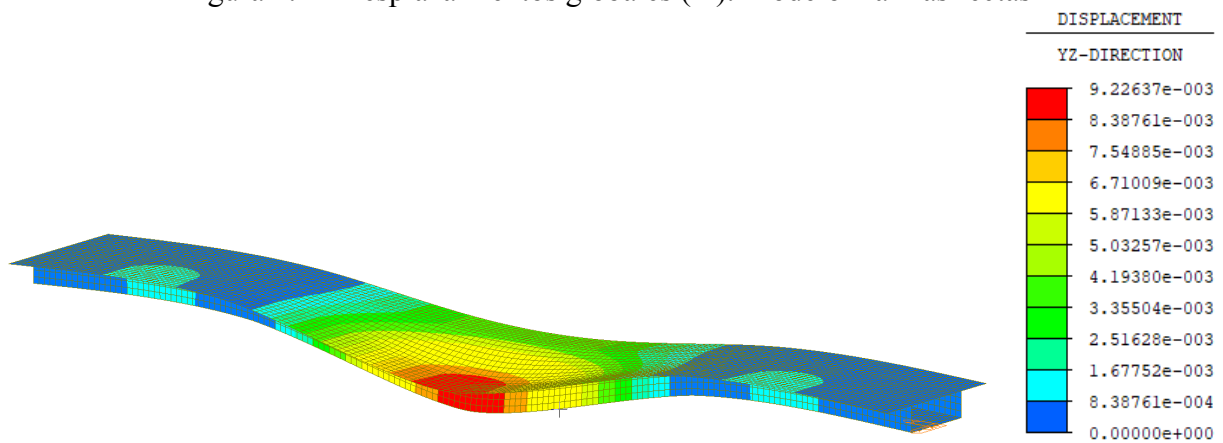


Figura 4.3 - Desplazamientos globales (m). Modelo 3 almas rectas

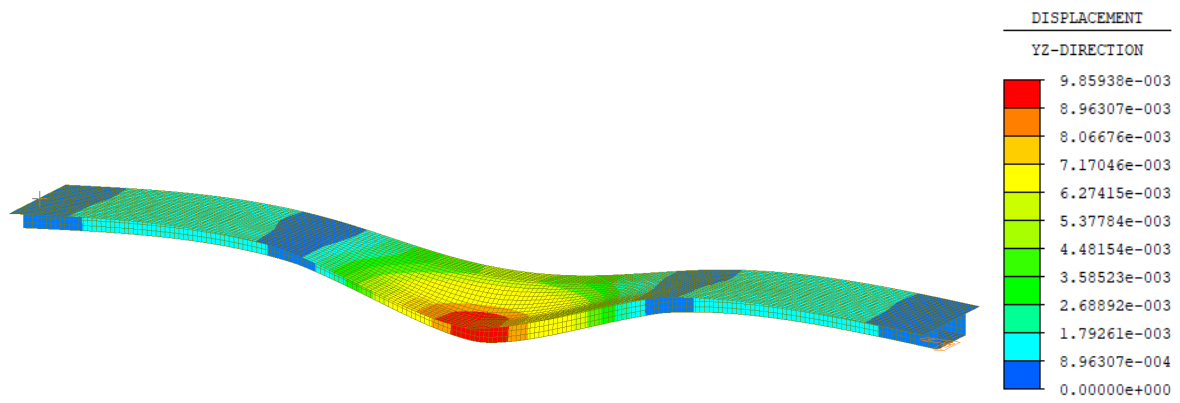


Figura 4.4 - Desplazamientos globales (m). Modelo 4 almas rectas

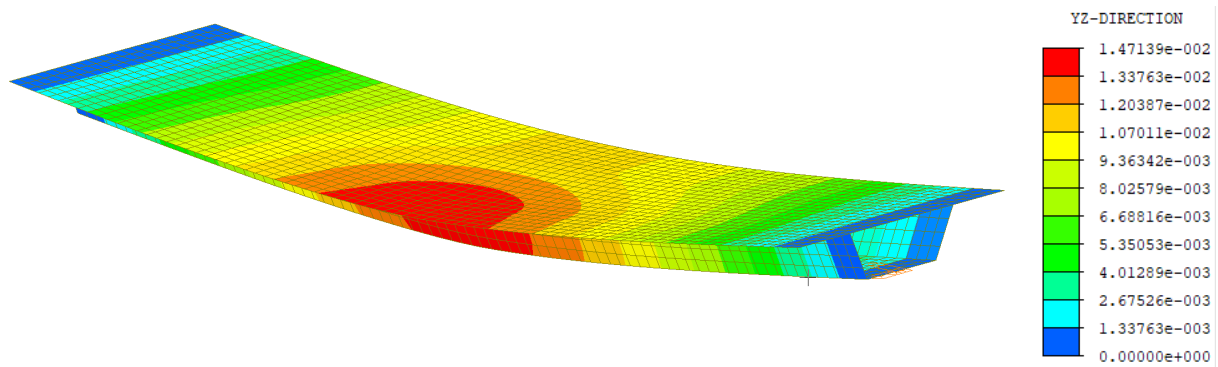


Figura 4.5 - Desplazamientos globales (m). Modelo 1 almas inclinadas

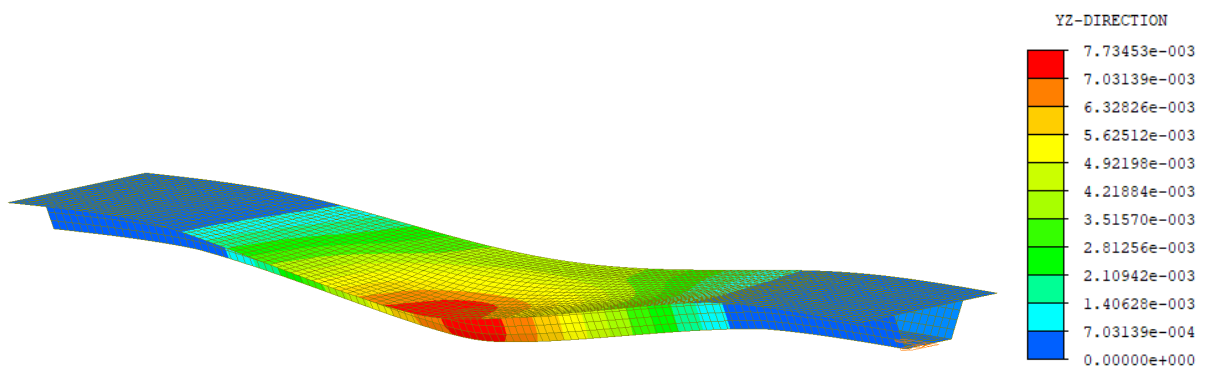


Figura 4.6 - Desplazamientos globales (m). Modelo 2 almas inclinadas

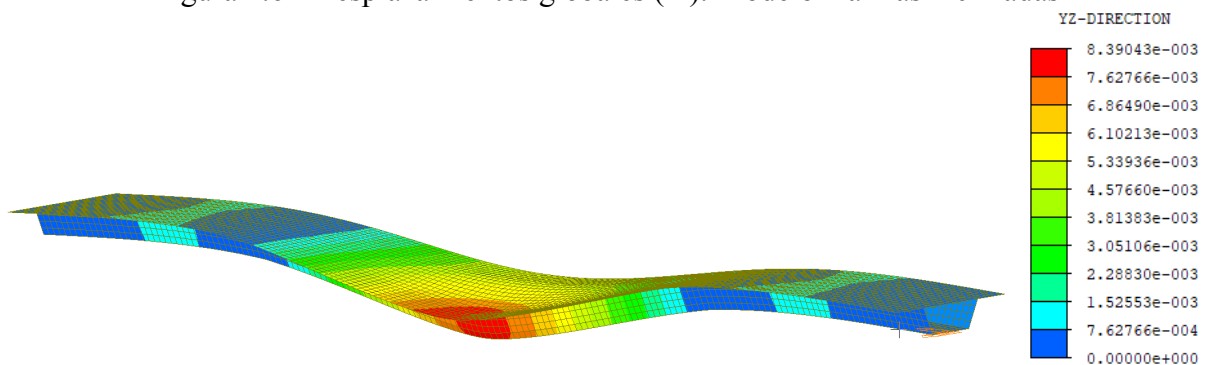
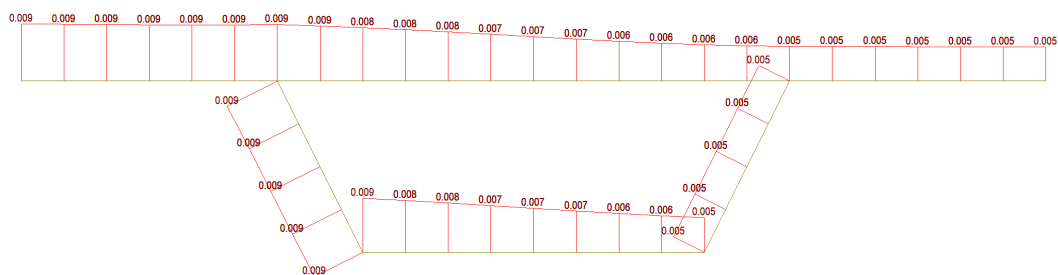
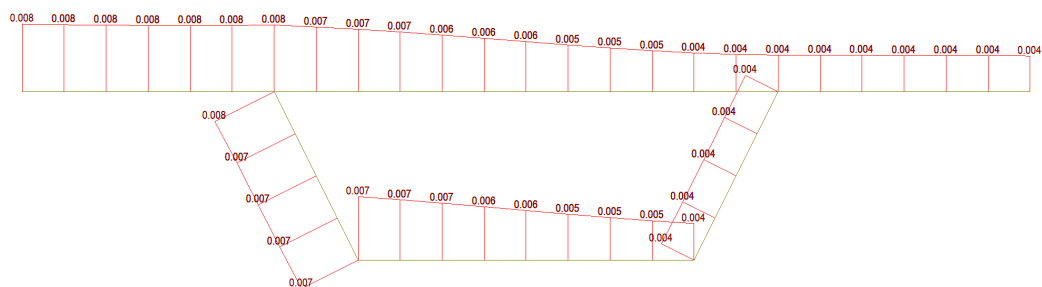


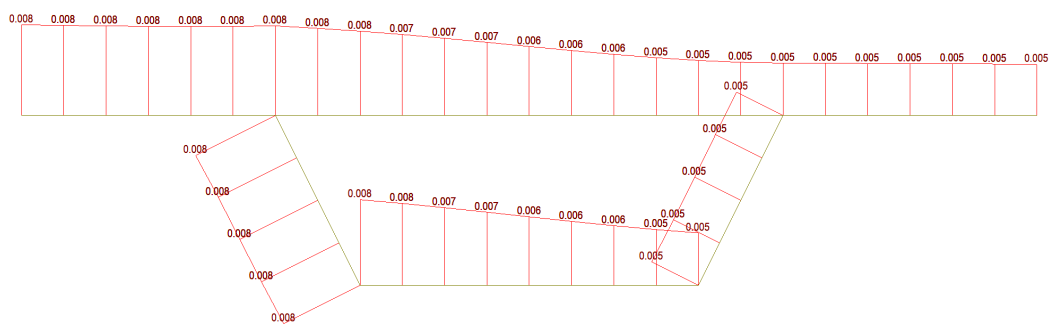
Figura 4.7 - Desplazamientos globales (m). Modelo 3 almas inclinadas



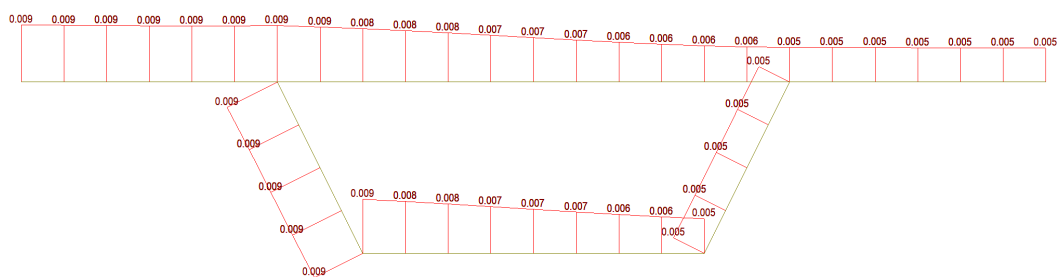
Modelo 1



Modelo 2



Modelo 3



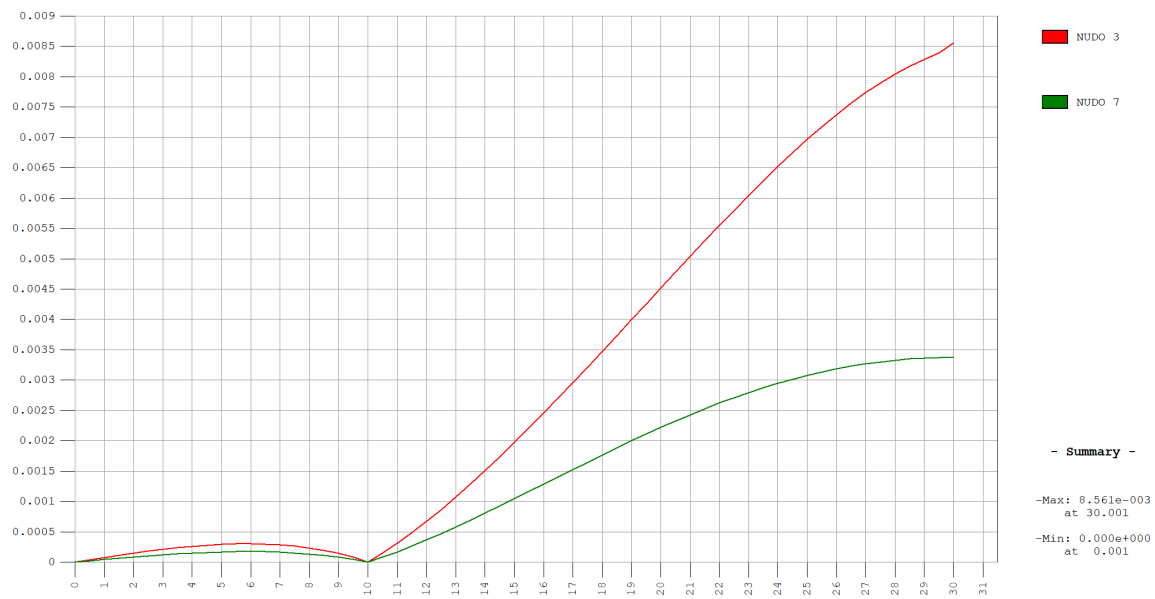
Modelo 4

Figura 4.10 - Desplazamientos sección central (m) modelos almas inclinadas

Flecha Modelo 1



Flecha Modelo 2



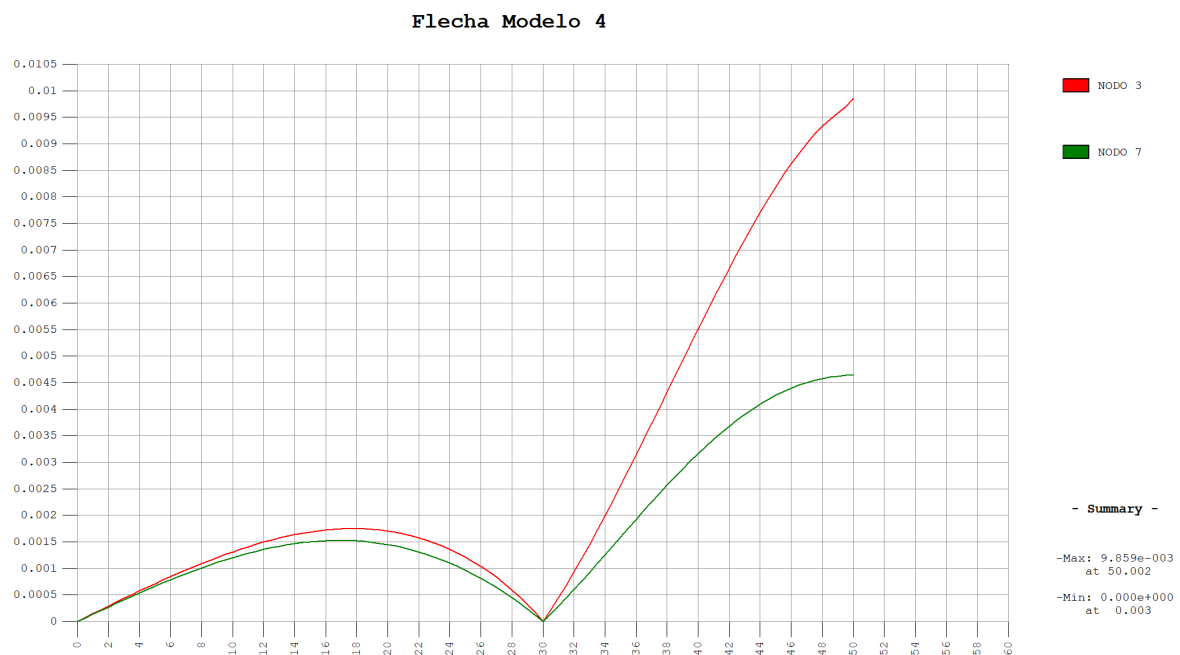
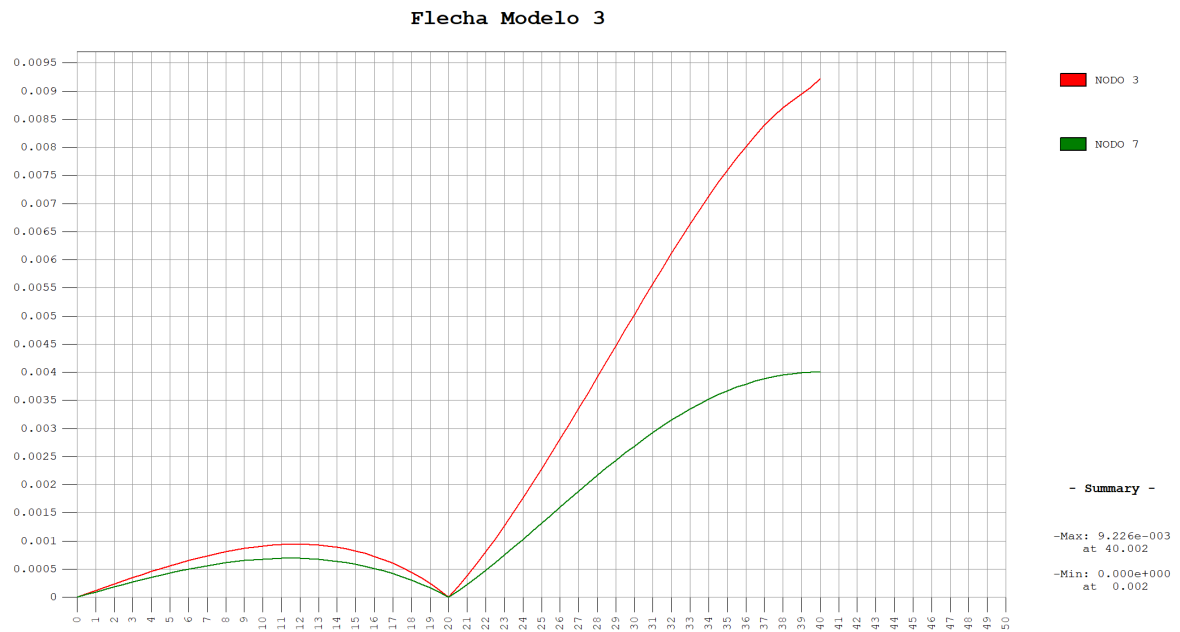
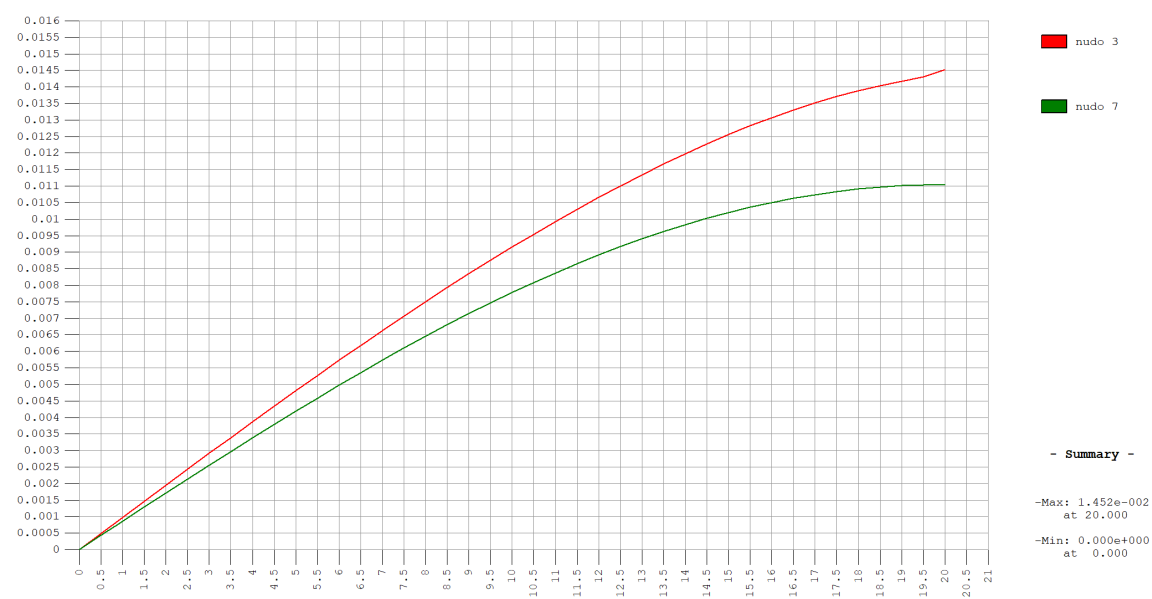
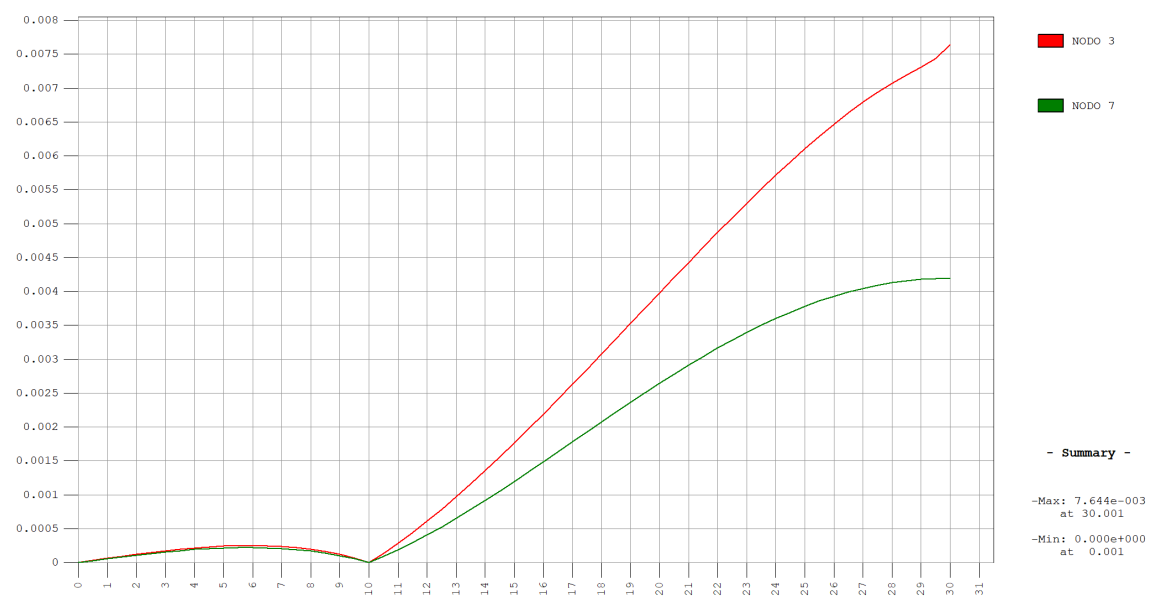


Figura 4.11 - Flechas modelos almas rectas (m)

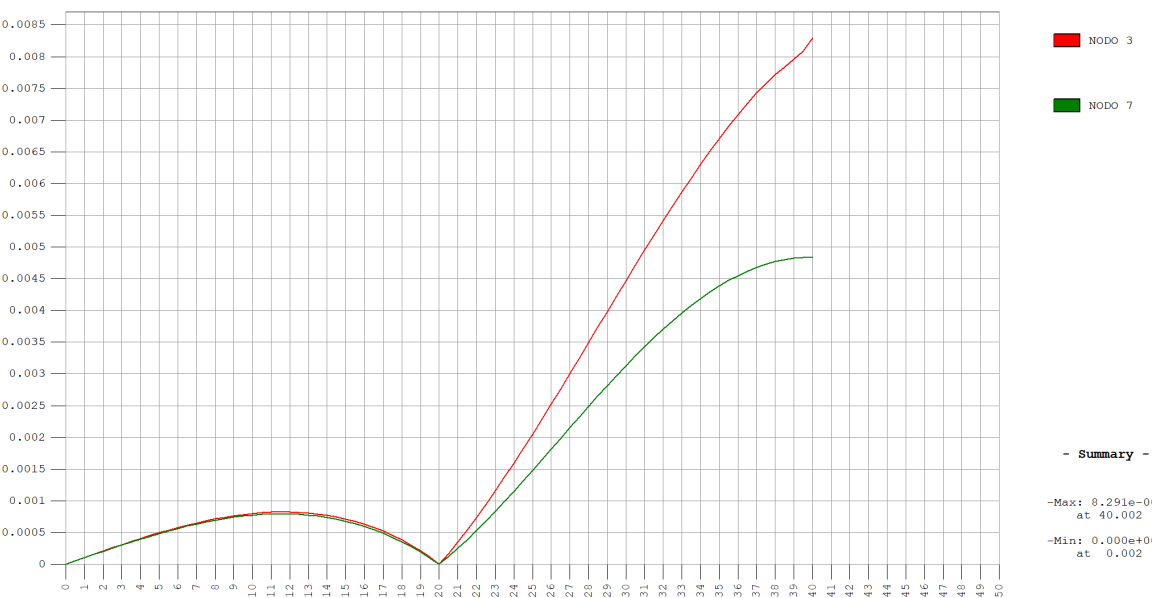
Flecha Modelo 1

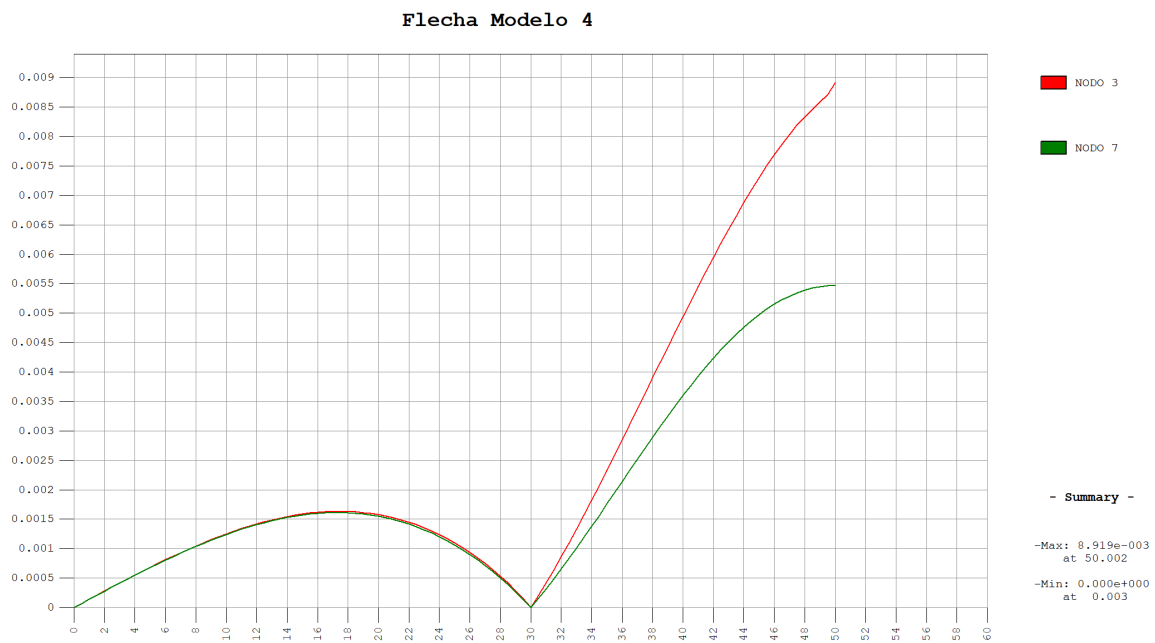


Flecha Modelo 2



Flecha Modelo 3





Puede verse con claridad la sección en la que existen los apoyos en los diferentes modelos, ya que la flecha es nula.

En la distribución de los desplazamientos a lo largo de la longitud del vano, la flecha del nodo 7 permanece aproximadamente constante en los modelos 2, 3 y 4, debido a que los modelos vienen determinados por las mismas condiciones de contorno (modelos que contienen apoyos entre los extremos del puente), idéntica carga (carga puntual sobre el alma izquierda de la sección) y la diferencia en la inercia a flexión de los dos tipos de secciones es nula.

Mientras mayor es el vano lateral, mayor flecha. El efecto que se aprecia obedece a que los modelos 1 no tienen continuidad y los tienen mayor longitud implica menor rigidez.

El valor de la flecha del nodo 7 en el modelo 1 es el triple al referido en el resto de modelos, siendo la única variante que solo existen apoyos en los extremos del puente.

La flecha del nodo 3, en los modelos 2, 3 y 4, vuelve a ser aproximadamente constante, mientras que en el modelo 1 es considerablemente mayor. De hecho, el desplazamiento máximo del modelo 1 es el doble que el desplazamiento del modelo 2.

El modelo que presenta una deformación menor es el modelo de 100 m con almas inclinadas.

4.3 Distorsión

La distorsión es un parámetro en el que el efecto de la inclinación de las almas es notable. La distorsión depende de la relación entre la luz del puente y la anchura del cajón, las condiciones de contorno en los apoyos, la rigidez de la sección transversal y la carga existente.

El estudio de sensibilidad para la distorsión consiste en obtener la distorsión para todos los modelos bajo la aplicación de la carga puntual 3.

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
5	0.00221	0.00004	0.01175	0.00021	0.01173	0.00021	0.00367	0.00006	0.00026
10	0.00625	0.00011	0.02515	0.00044	0.02515	0.00044	0.00923	0.00016	0.00057
15	0.01220	0.00021	0.03996	0.00070	0.03999	0.00070	0.01664	0.00029	0.00095
16	0.01338	0.00023	0.04276	0.00075	0.04281	0.00075	0.01805	0.00032	0.00102
17	0.01447	0.00025	0.04537	0.00079	0.04543	0.00079	0.01928	0.00034	0.00109
18	0.01541	0.00027	0.04769	0.00083	0.04776	0.00083	0.02025	0.00035	0.00114
19	0.01622	0.00028	0.04950	0.00086	0.04969	0.00087	0.02088	0.00037	0.00119
20	0.01650	0.00029	0.05026	0.00088	0.05228	0.00091	0.02109	0.00037	0.00122

Tabla 4.1 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas rectas

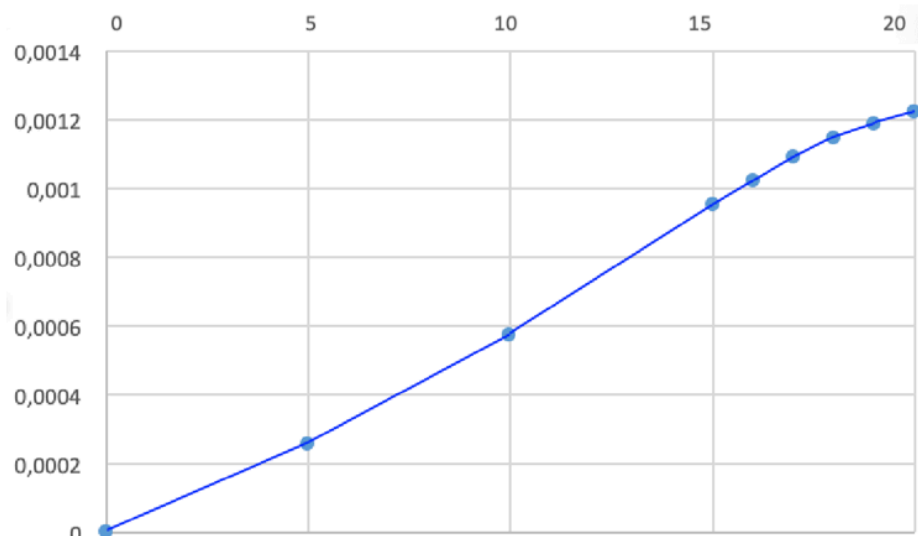


Figura 4.13 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas rectas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7.5	0.00026	0.00001	0.00106	0.00002	0.00109	0.00002	0.00138	0.00002	0.00003
15	0.00115	0.00002	0.00890	0.00016	0.00886	0.00016	-0.00032	-0.00001	0.00016
22.5	0.00811	0.00014	0.02949	0.00052	0.02949	0.00052	-0.00945	-0.00017	0.00050
24	0.01008	0.00018	0.03408	0.00060	0.03411	0.00060	-0.01189	-0.00021	0.00058
25.5	0.01203	0.00021	0.03853	0.00067	0.03859	0.00067	-0.01427	-0.00025	0.00065
27	0.01381	0.00024	0.04262	0.00074	0.04269	0.00075	-0.01627	-0.00028	0.00072
28.5	0.01524	0.00027	0.04600	0.00080	0.04608	0.00080	-0.01765	-0.00031	0.00078
30	0.01596	0.00028	0.04758	0.00083	0.04953	0.00087	-0.01816	-0.00032	0.00083

Tabla 4.2 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas rectas

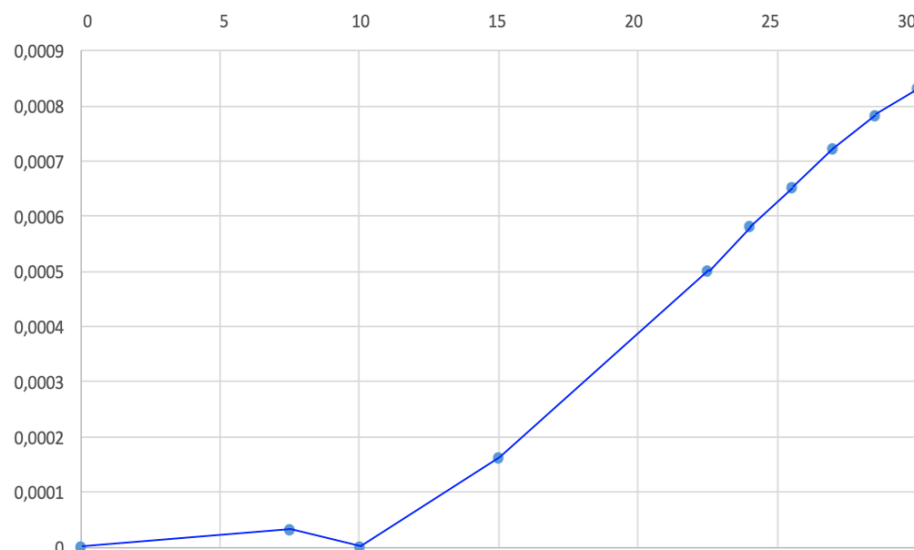


Figura 4.14 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas rectas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.00135	0.00002	0.00221	0.00004	0.00221	0.00004	0.00246	0.00004	0.00007
20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30	0.00527	0.00009	0.02235	0.00039	0.02234	0.00039	-0.00607	-0.00011	0.00038
32	0.00765	0.00013	0.02833	0.00050	0.02833	0.00050	-0.00908	-0.00016	0.00048
34	0.01026	0.00018	0.03444	0.00060	0.03446	0.00060	-0.01226	-0.00021	0.00058
36	0.01278	0.00022	0.04029	0.00070	0.04036	0.00070	-0.01533	-0.00027	0.00068
38	0.01495	0.00026	0.04531	0.00079	0.04537	0.00079	-0.01762	-0.00031	0.00077
40	0.01607	0.00028	0.04790	0.00084	0.04985	0.00087	-0.01851	-0.00032	0.00083

Tabla 4.3 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas rectas

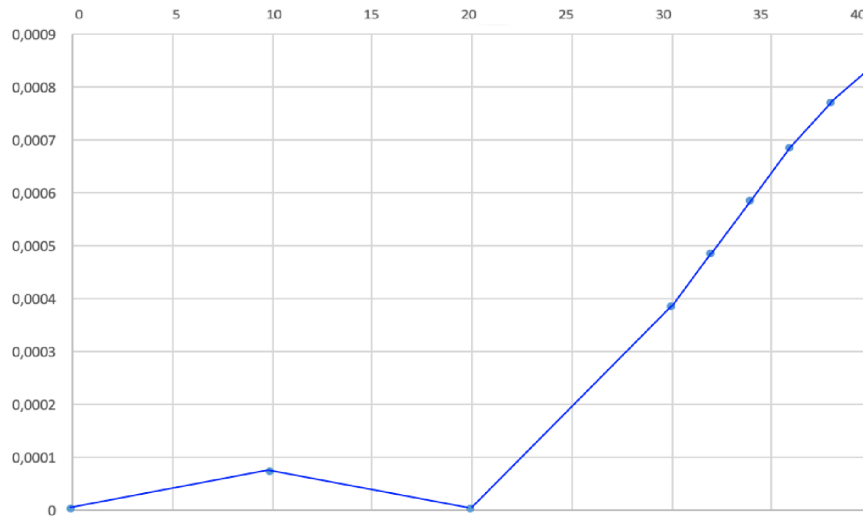


Figura 4.15 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas rectas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12.5	0.00043	0.000008	0.004097	0.000072	0.004059	0.000071	0.00026	0.00001	0.00008
25	0.00123	0.000022	0.009272	0.0001618	0.009234	0.000161	0.00083	0.00002	0.00018
37.5	0.00278	0.000049	0.015413	0.000269	0.015384	0.000269	0.00304	0.00005	0.00032
40	0.00516	0.00009	0.022365	0.000390	0.022355	0.000390	0.00619	0.00011	0.00049
42.5	0.00819	0.000143	0.02988	0.000522	0.02988	0.000522	0.00997	0.00017	0.00068
45	0.01143	0.0002	0.037443	0.000654	0.037481	0.000654	0.01395	0.00024	0.00088
47.5	0.14353	0.000251	0.044185	0.000772	0.044252	0.000772	0.01728	0.00030	0.00105
50	0.01596	0.000279	0.047909	0.000836	0.049857	0.000870	0.01859	0.00033	0.00116

Tabla 4.4 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas rectas

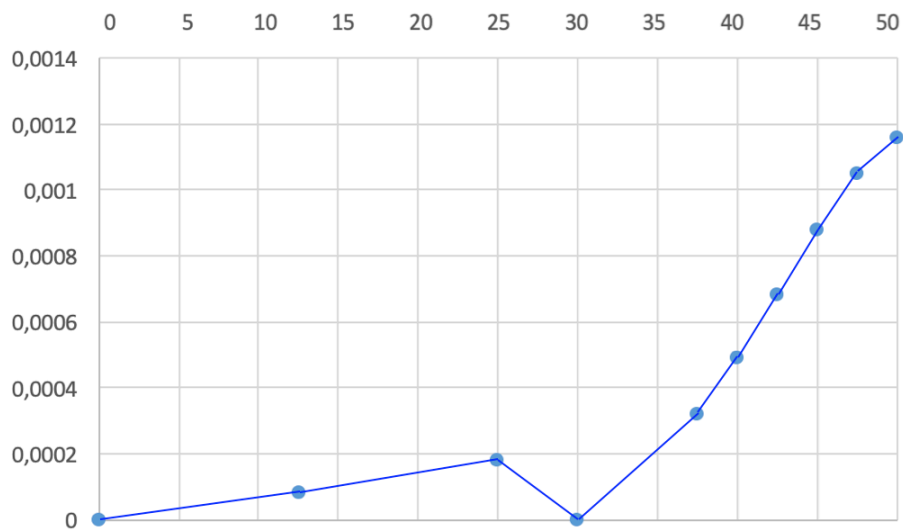


Figura 4.16 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas rectas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.006229	0.000109	0.006264	0.000109	0.005978	0.000104	0.005166	0.000090	0.000206
10	0.011230	0.000196	0.015012	0.000262	0.012586	0.000220	0.009122	0.000159	0.000418
15	0.013687	0.000239	0.029107	0.000508	0.020559	0.000359	0.010235	0.000179	0.000642
16	0.013884	0.000242	0.032602	0.000569	0.022326	0.000390	0.010084	0.000176	0.000688
17	0.014049	0.000245	0.036192	0.000632	0.024102	0.000421	0.009800	0.000171	0.000734
18	0.014287	0.000249	0.039688	0.000693	0.025859	0.000451	0.009520	0.000166	0.000780
19	0.015323	0.000267	0.042476	0.000741	0.027721	0.000484	0.009305	0.000162	0.000828
20	0.020693	0.000361	0.043603	0.000761	0.031254	0.000545	0.009186	0.000160	0.000914

Tabla 4.5 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas inclinadas

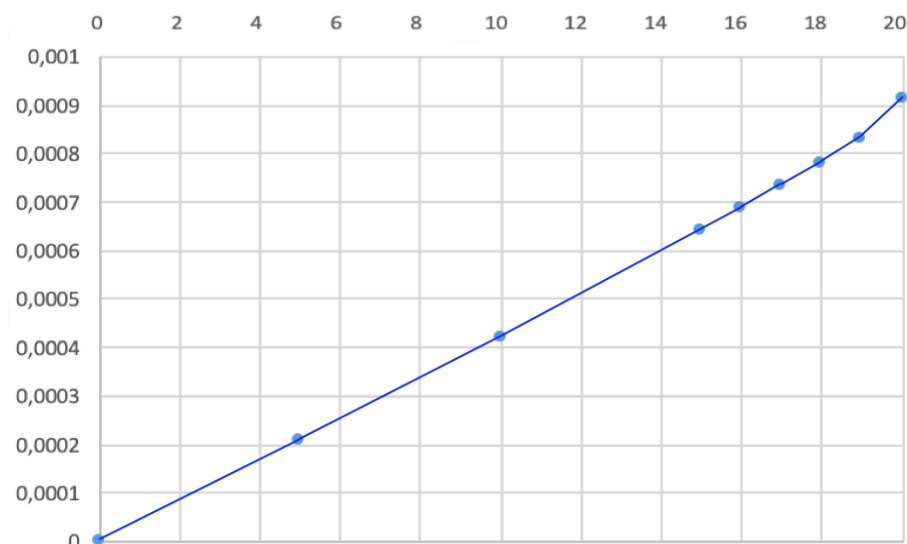


Figura 4.17 - Distribución de la distorsión modelo 1 almas inclinadas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
7.5	0.00041	0.000007	0.000444	0.000008	0.000267	0.000005	0.000565	0.000010	0.000015
15	0.00321	0.000056	0.006245	0.000109	0.005462	0.000095	0.003854	0.000067	0.000164
22.5	0.00522	0.000091	0.023205	0.000405	0.017256	0.000301	0.004291	0.000075	0.000436
24	0.00491	0.000086	0.027860	0.000486	0.020187	0.000352	0.003597	0.000063	0.000494
25.5	0.00445	0.000078	0.032759	0.000572	0.023233	0.000406	0.002698	0.000047	0.000551
27	0.00398	0.000070	0.037643	0.000657	0.026241	0.000458	0.001721	0.000030	0.000607
28.5	0.00370	0.000065	0.042012	0.000733	0.029011	0.000506	0.000976	0.000017	0.000661
30	0.00470	0.000082	0.044103	0.000770	0.032907	0.000574	0.000642	0.00001	0.00072

Tabla 4.6 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas inclinadas

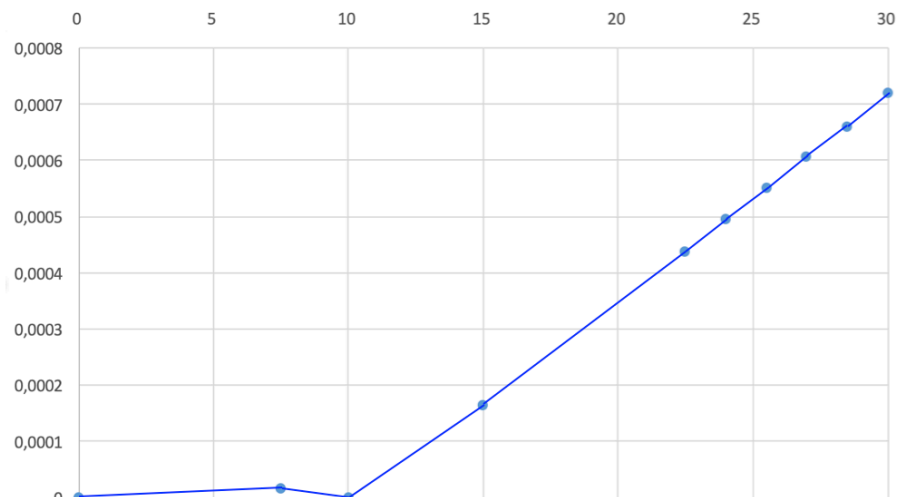


Figura 4.18 - Distribución de la distorsión modelo 2 almas inclinadas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
10	0.00031	0.00001	0.00040	0.00001	0.00024	0.000004	0.00046	0.00001	0.00001
20	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
30	0.00532	0.00009	0.01636	0.00029	0.01279	0.00022	0.00481	0.00008	0.00034
32	0.00537	0.00009	0.02174	0.00038	0.01633	0.00029	0.00439	0.00008	0.00042
34	0.00424	0.00007	0.02477	0.00043	0.02020	0.00035	0.00460	0.00008	0.00047
36	0.00437	0.00008	0.03442	0.00060	0.02426	0.00042	0.00229	0.00004	0.00057
38	0.00383	0.00007	0.04069	0.00071	0.02813	0.00049	0.00111	0.00002	0.00064
40	0.00478	0.00008	0.04410	0.00077	0.03292	0.00058	0.00059	0.00001	0.00072

Tabla 4.7 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas inclinadas

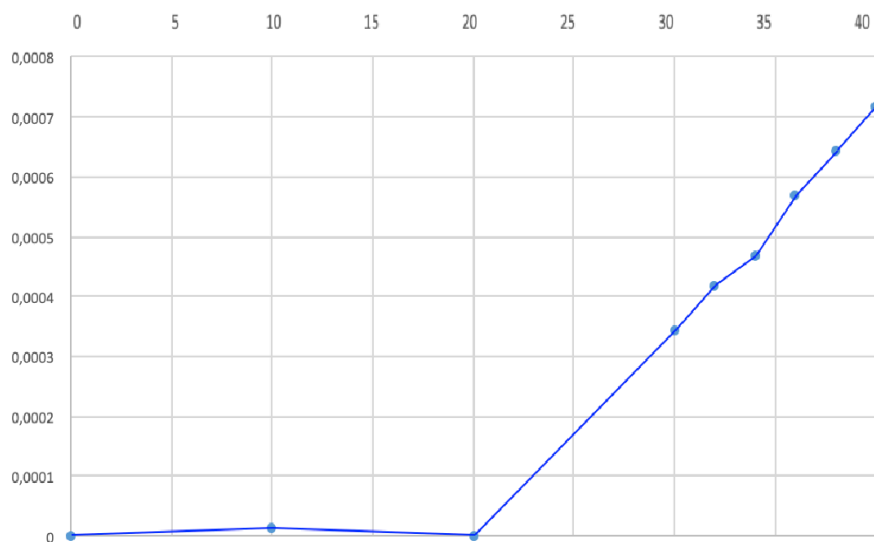


Figura 4.19 - Distribución de la distorsión modelo 3 almas inclinadas

	α		β		γ		δ		Distorsión
	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Grados	Radianes	Radianes
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
12.5	0.00033	0.00001	0.00016	0.000003	0.00012	0.000002	0.00023	0.000004	0.00001
25	0.00046	0.00001	0.00060	0.00001	0.00036	0.00001	0.00067	0.00001	0.00002
37.5	0.00470	0.00008	0.01076	0.00019	0.00887	0.00016	0.00455	0.00008	0.00025
40	0.00540	0.00009	0.01636	0.00029	0.01279	0.00022	0.00475	0.00008	0.00034
42.5	0.00537	0.00009	0.02322	0.00041	0.01727	0.00030	0.00414	0.00007	0.00044
45	0.00475	0.00008	0.03113	0.00054	0.02222	0.00039	0.00285	0.00005	0.00053
47.5	0.00401	0.00007	0.03922	0.00069	0.027206	0.00048	0.00129	0.00002	0.00063
50	0.00483	0.00008	0.04412	0.00077	0.03292	0.00058	0.00049	0.00001	0.00072

Tabla 4.8 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas inclinadas

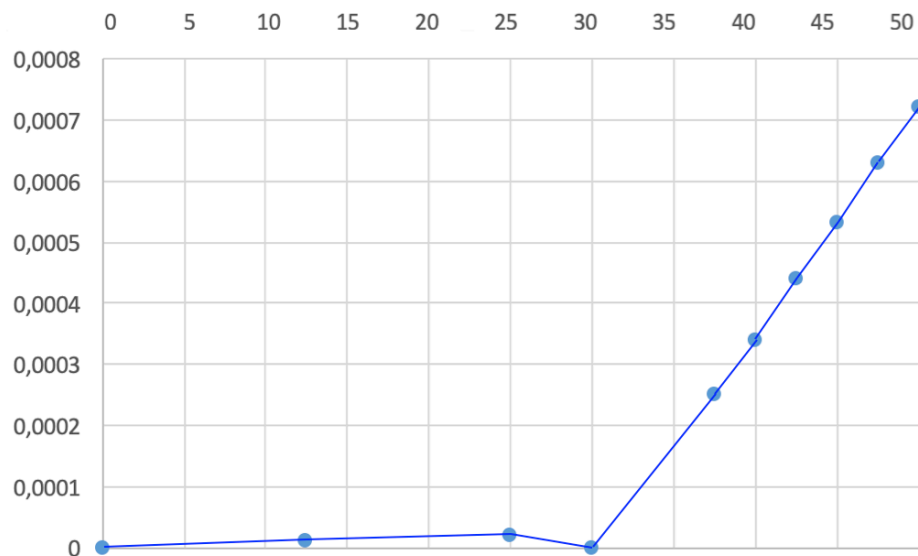


Figura 4.20 - Distribución de la distorsión modelo 4 almas inclinadas

Se observa en la distribución de la distorsión a lo largo de la luz, que las secciones con las almas inclinadas presentan una distorsión menor. Es posible observar, también, que la distorsión máxima de los modelos de 40 m y 100 m de longitud con almas rectas es idéntica. El mismo fenómeno podemos ver en la distorsión máxima de los modelos de 60 m y 80 m con almas rectas.

En tableros con almas rectas la ausencia de vanos laterales provoca mayor distorsión, la presencia de vanos laterales disminuye la distorsión pero su efecto se pierde cuando la luz del vano lateral aumenta. Con almas inclinadas ocurre lo mismo, salvo que el aumento de la luz del vano lateral tiene menor influencia.

En cuanto a la sección con almas inclinadas, el valor máximo de los modelos de 60, 80 y 100 metros es el mismo, siendo mayor el que presenta el modelo de 40 metros.

Aunque los valores máximos de distorsión es similar en varios modelos, no lo es la distribución que presentan a lo largo de la luz, presentando el modelo de 100 m con almas inclinadas la mejor relación de valor numérico y distribución a lo largo de la luz.

4.4 Tensiones

Se estudia de forma separada la influencia que tiene la longitud de vano en las tensiones longitudinales y transversales tras la aplicación de la carga puntual.

4.4.1 Tensiones longitudinales

Observaremos la variación en el comportamiento de los modelos representando de forma global las tensiones longitudinales, así como las tensiones que se producen en la sección central de cada modelo y su distribución a lo largo de la longitud del vano para los nodos 3, 7, 10 y 12.

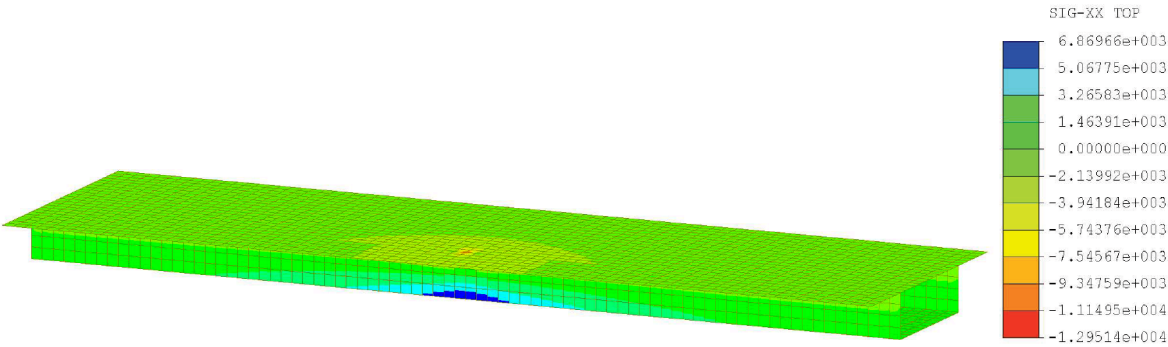


Figura 4.21 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 1

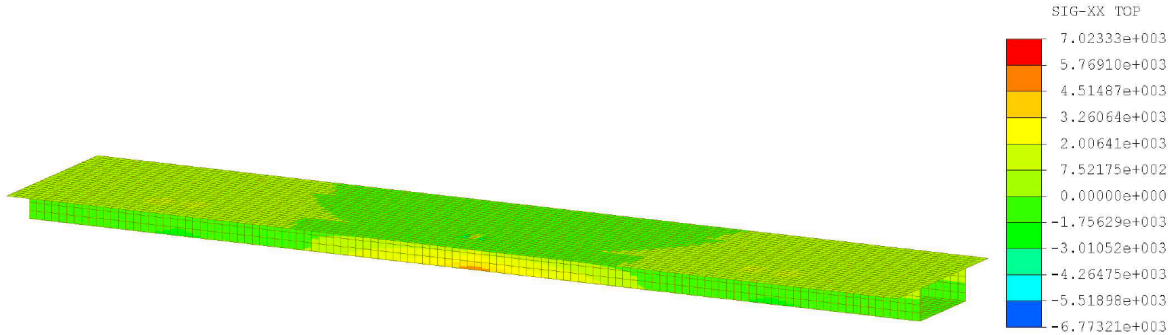


Figura 4.22 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 2

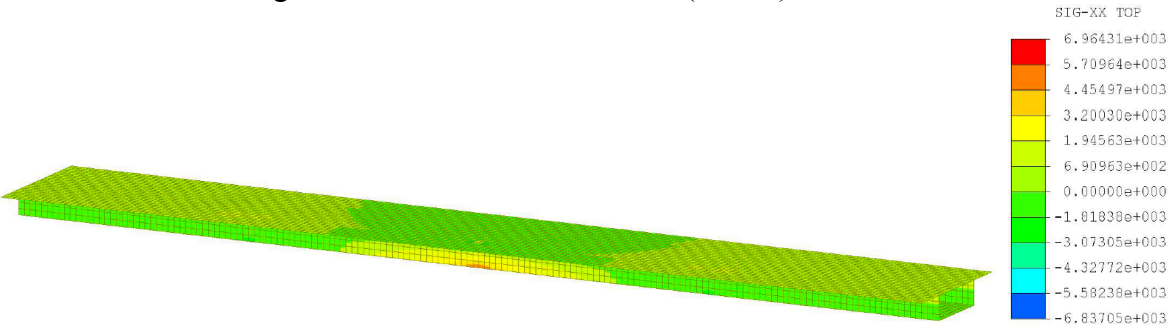


Figura 4.23 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 3

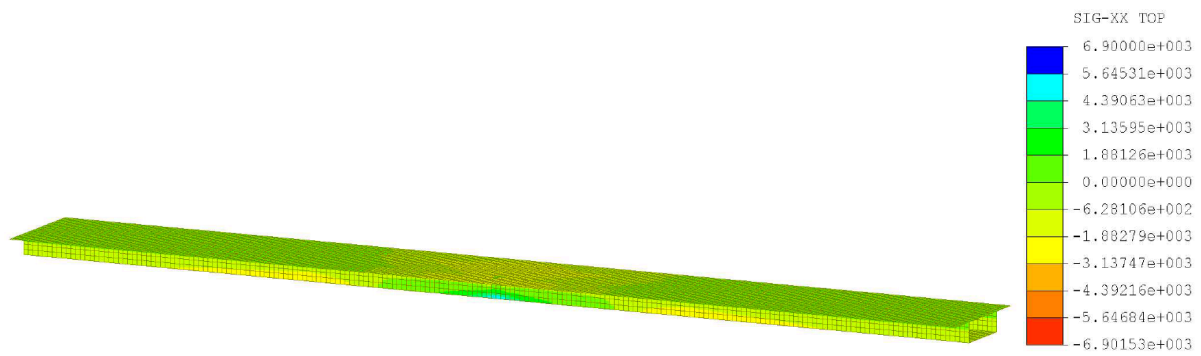


Figura 4.24 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 4

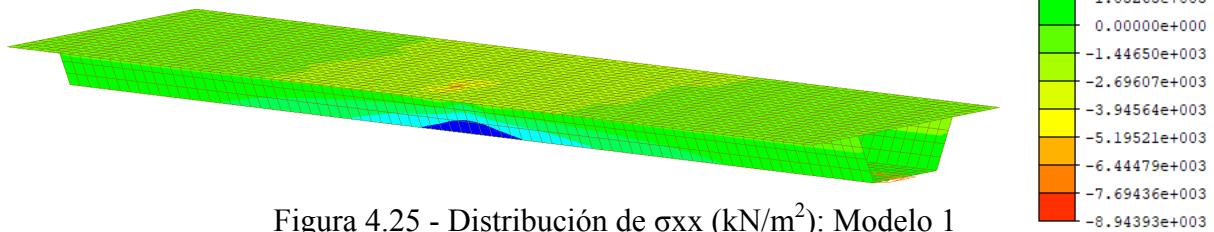


Figura 4.25 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 1

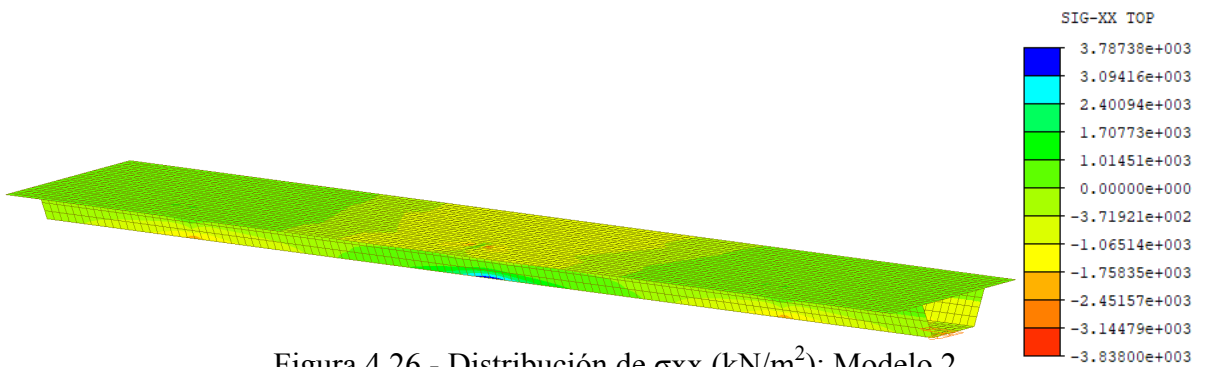


Figura 4.26 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 2

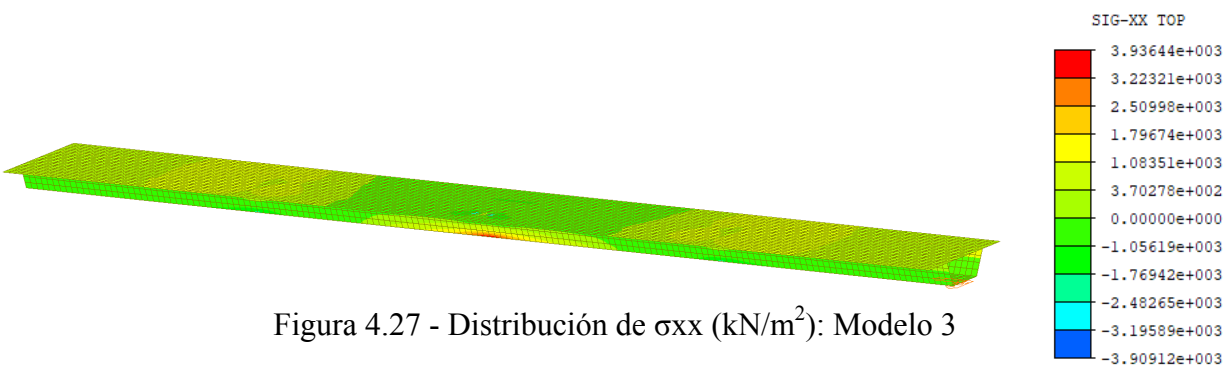


Figura 4.27 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 3

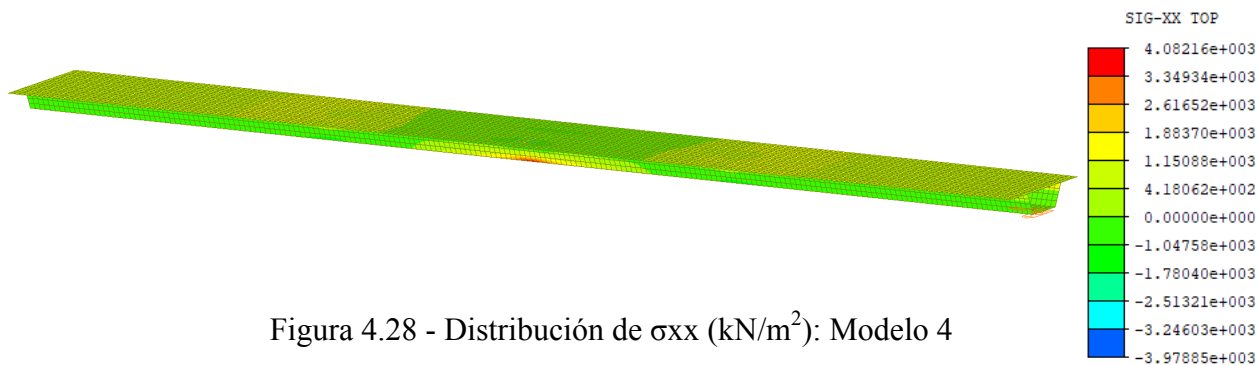


Figura 4.28 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²): Modelo 4

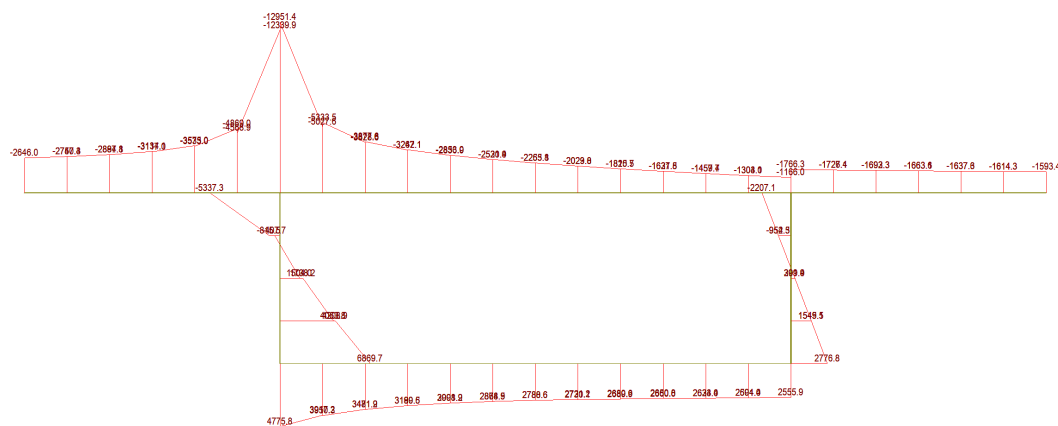


Figura 4.29 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 1

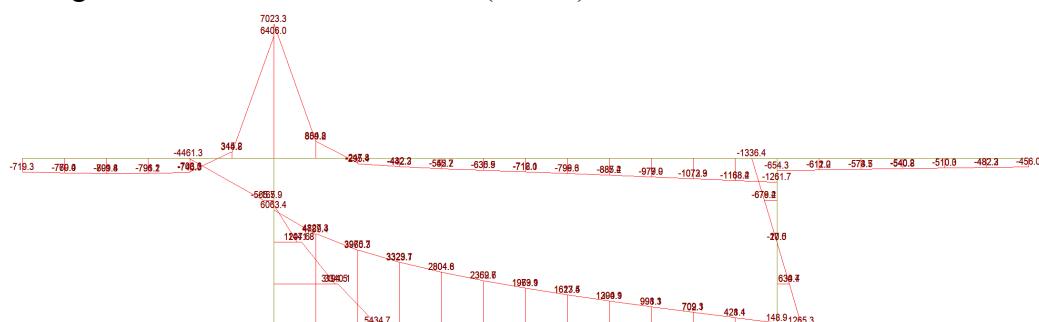


Figura 4.30 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 2

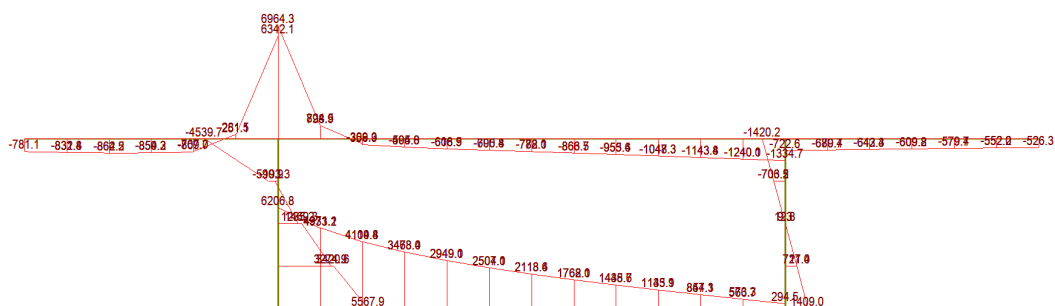


Figura 4.31 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 3

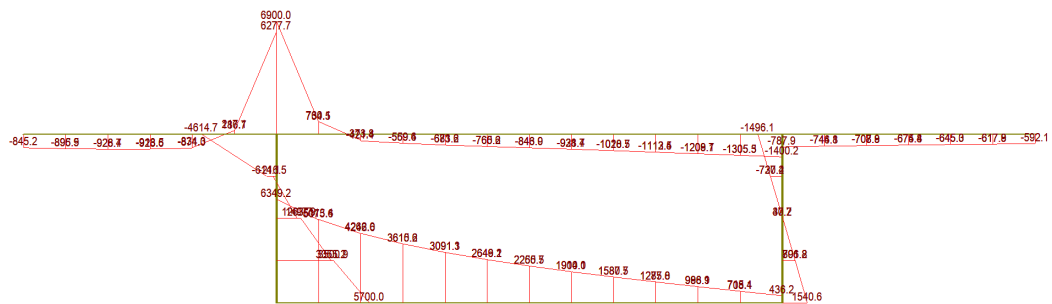


Figura 4.32 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 4

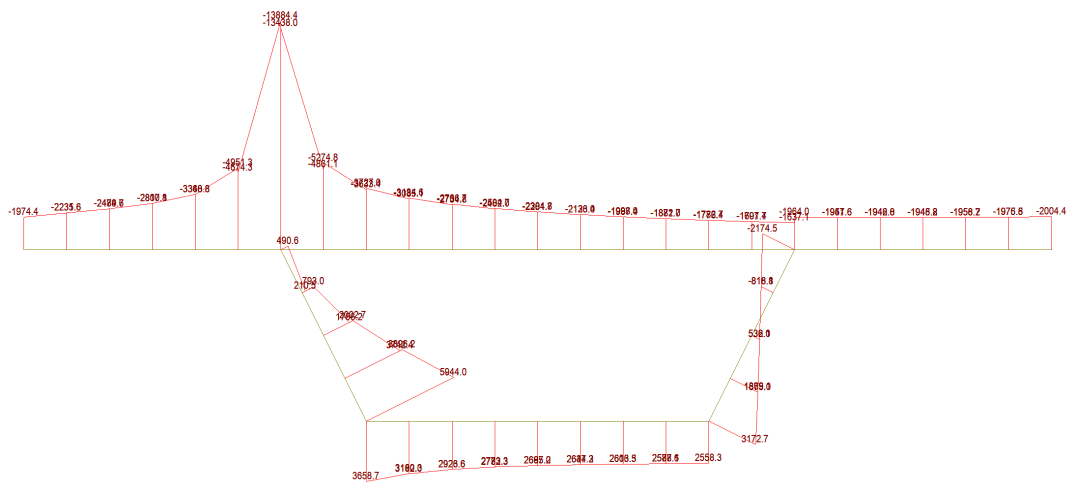


Figura 4.33 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 1

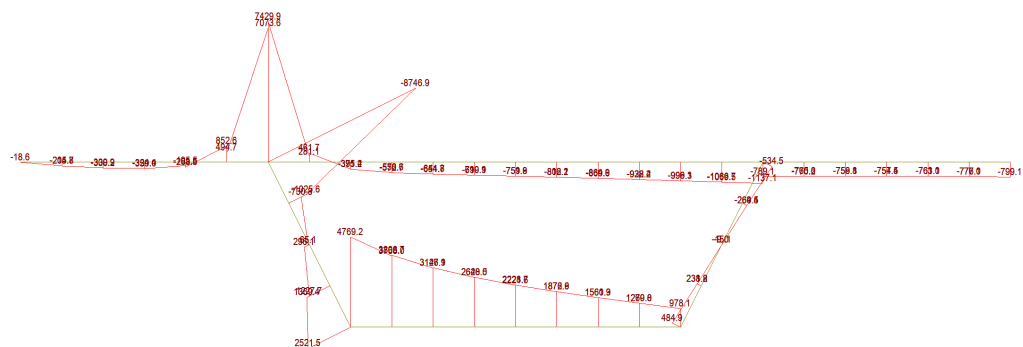


Figura 4.34 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 2

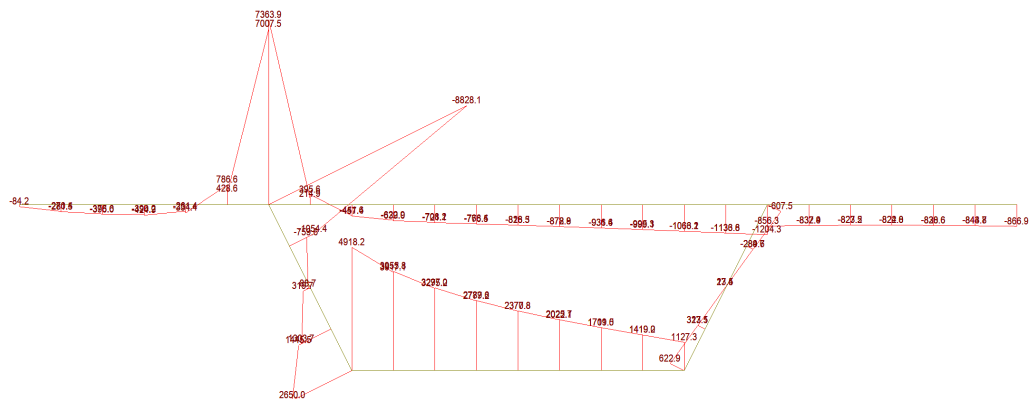


Figura 4.35 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 3

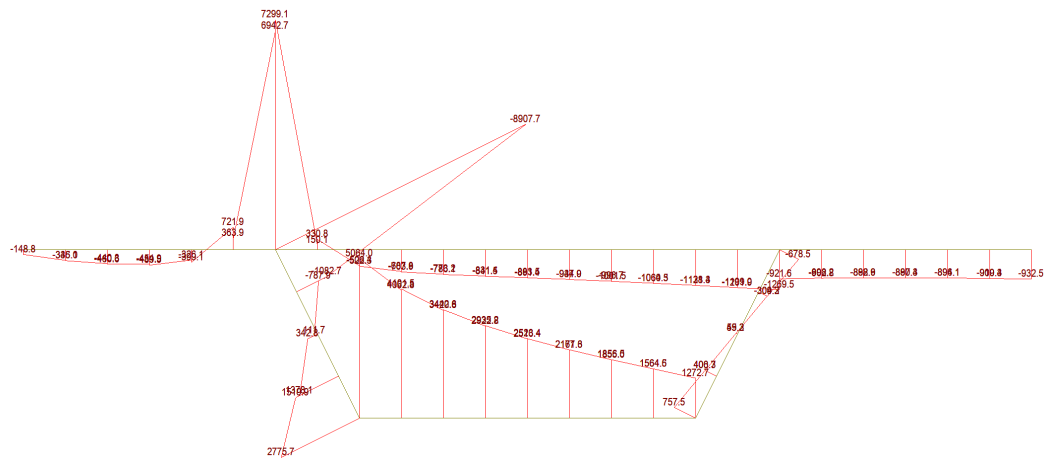
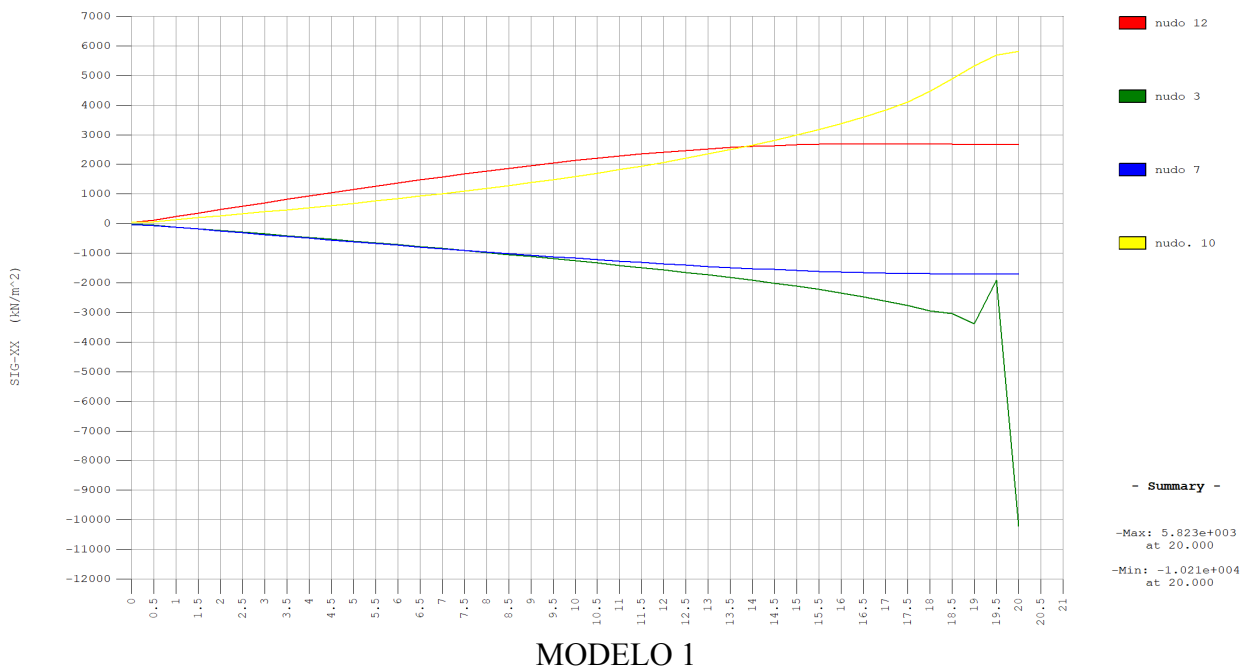
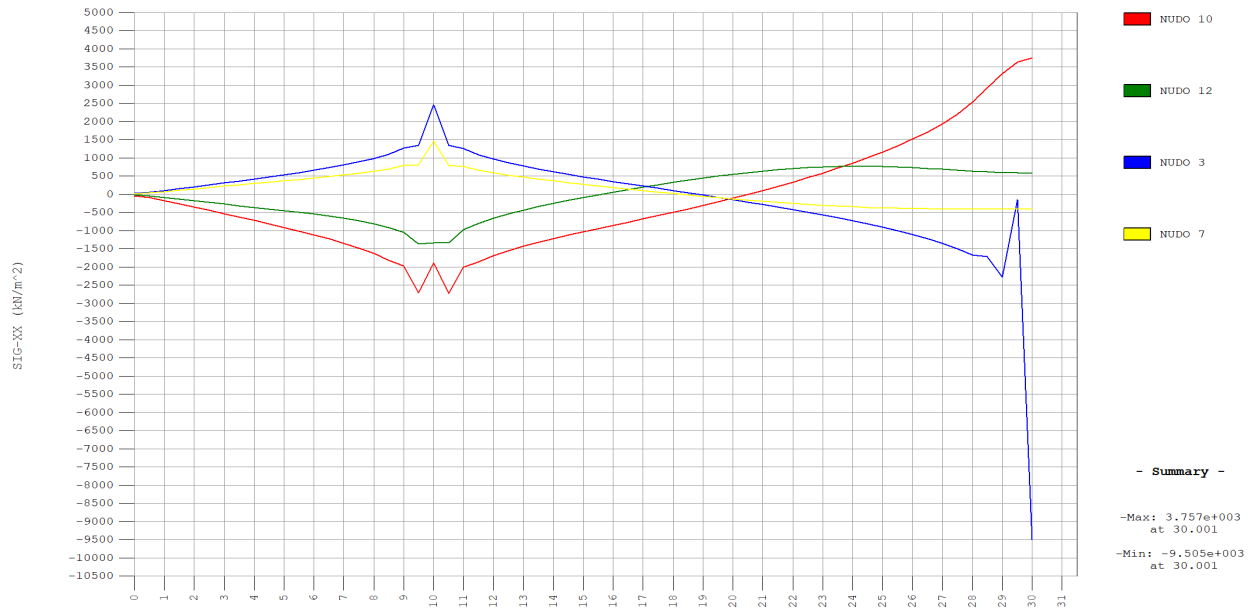
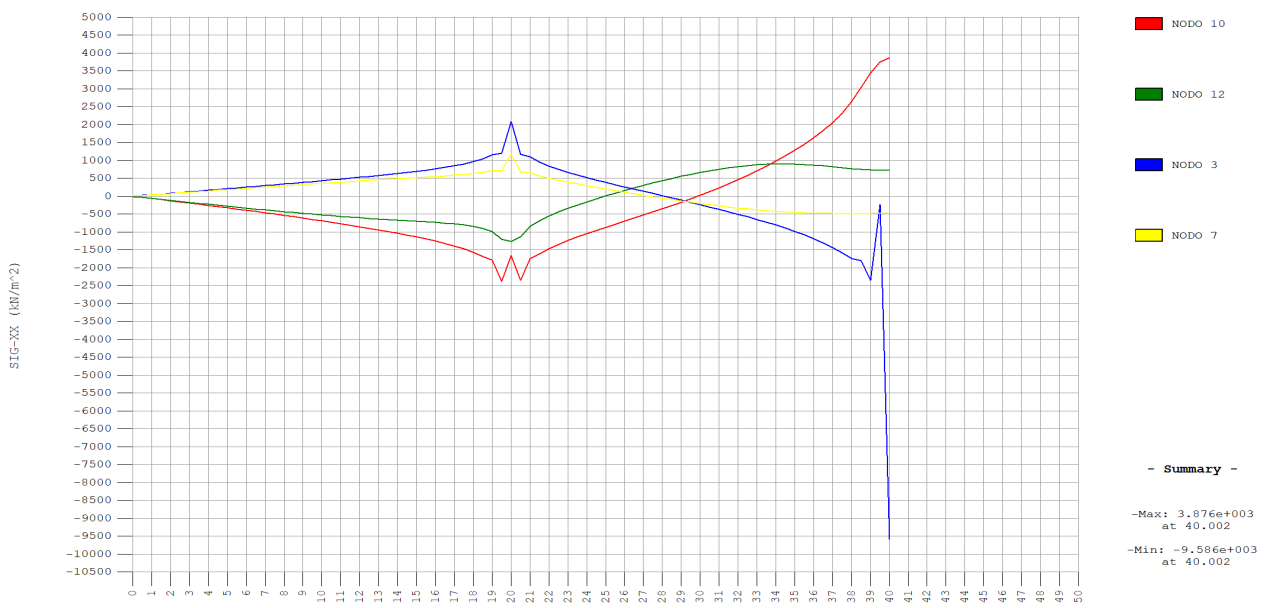


Figura 4.36 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección central. Modelo 4

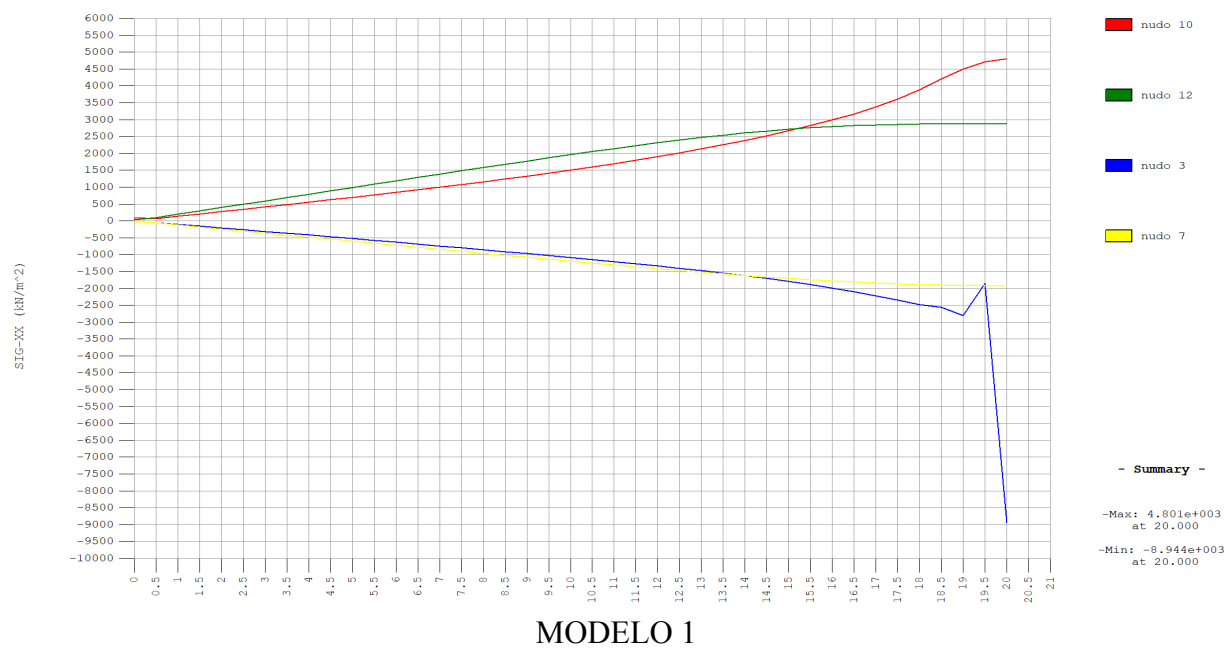
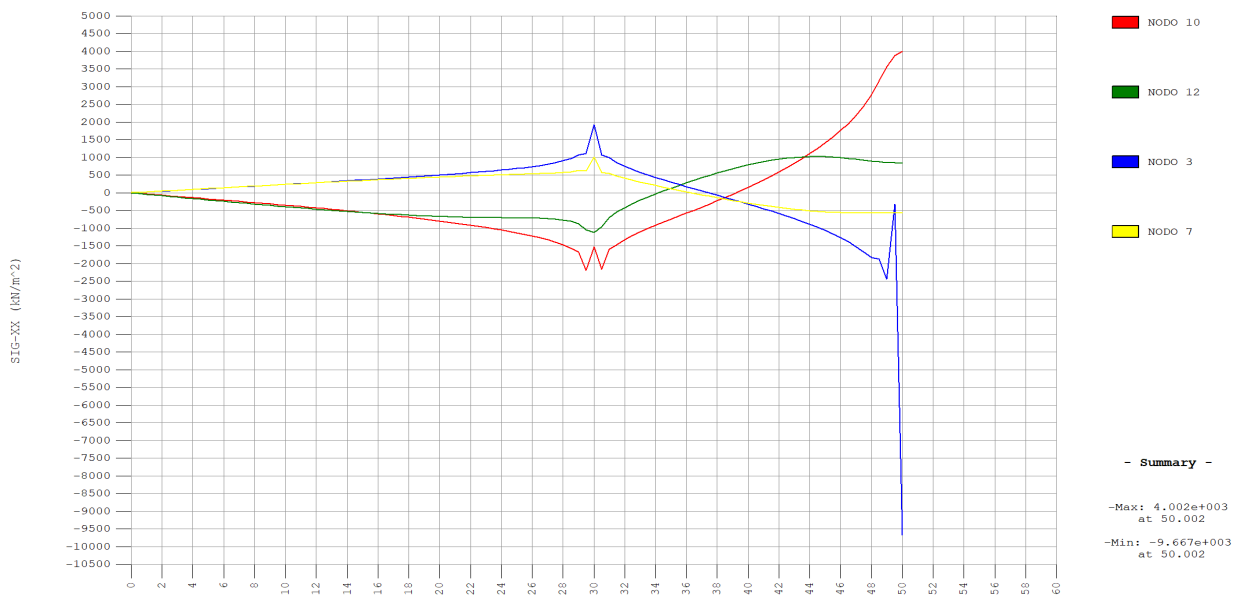


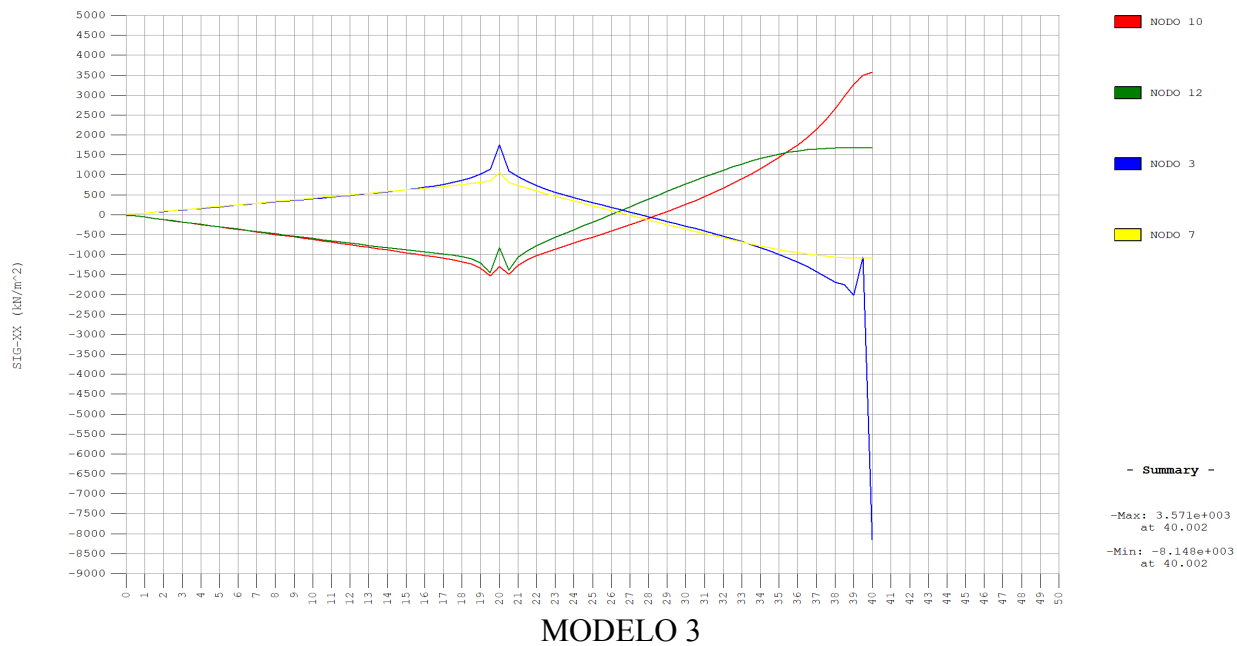
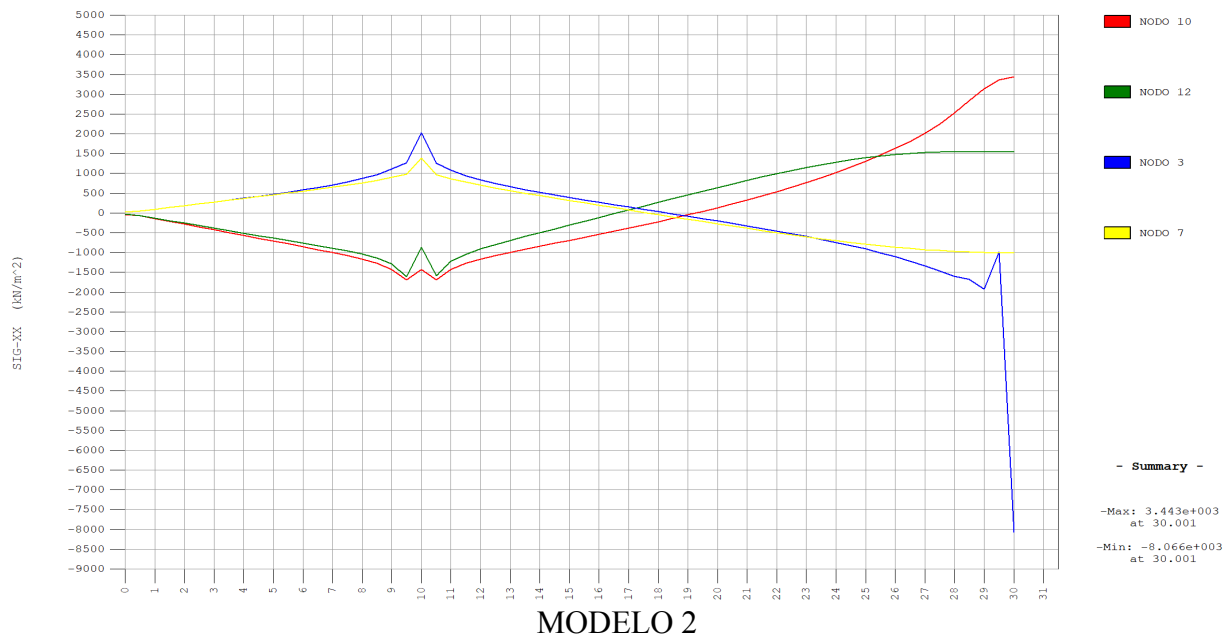


MODELO 2



MODELO 3





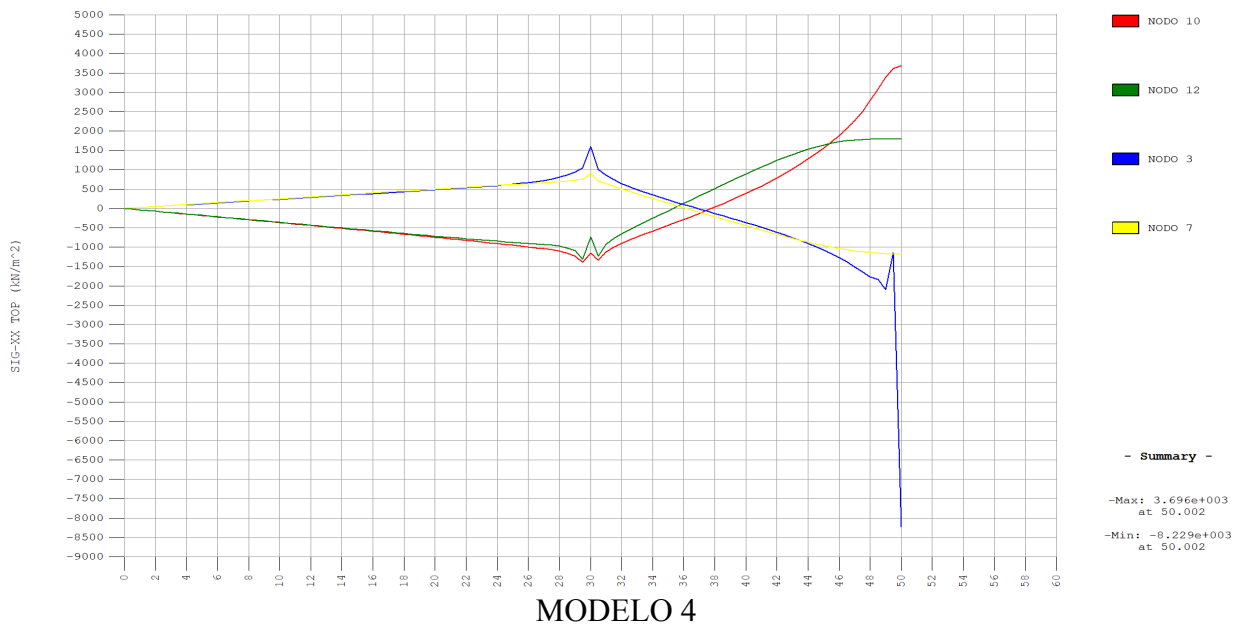


Figura 4.38 - Distribución de σ_{xx} (kN/m^2) a lo largo de la luz de modelos con almas inclinadas

Como puede observarse en las distribuciones de tensiones longitudinales a lo largo de la luz del vano, aparecen los mayores valores de tensiones longitudinales en las inmediaciones de la carga, siendo el nodo 3 el que presenta tensiones mayores.

Las distribuciones de los nodos son similares en los 4 modelos estudiados, teniendo en cuenta que en los modelos que existen apoyos intermedios existe una perturbación.

El modelo que presenta tensiones longitudinales menores es el modelo de 60 m con almas inclinadas.

Las tensiones longitudinales generales son mayores en 40 m y menores en 60 m porque la rigidez aumenta cuando la longitud del vano lateral disminuye. Por otra parte, las tensiones longitudinales locales no dependen de la longitud del vano lateral.

4.4.2 Tensiones tangenciales

Observaremos la variación en el comportamiento de los modelos representando de forma global las tensiones tangenciales, así como las tensiones que se producen en las secciones próximas a la mitad del vano de cada modelo.

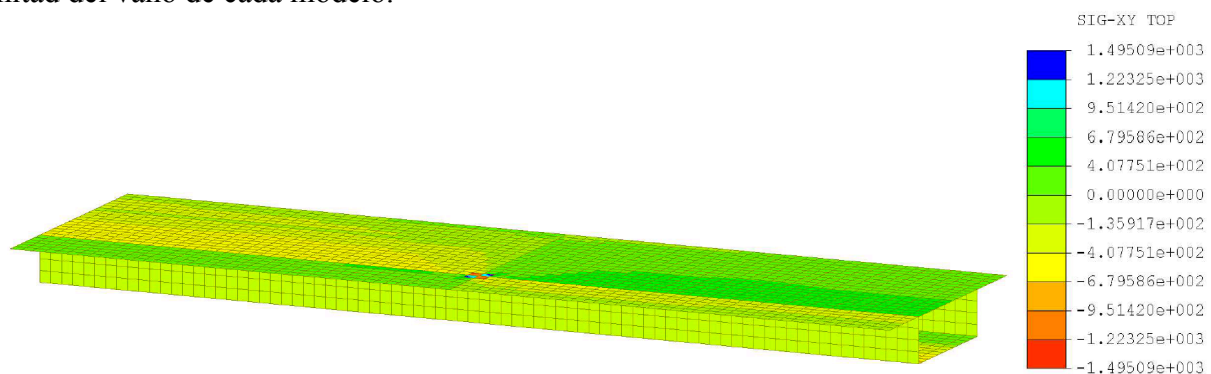


Figura 4.39 - Distribución de τ_{xy} (kN/m^2): Modelo 1

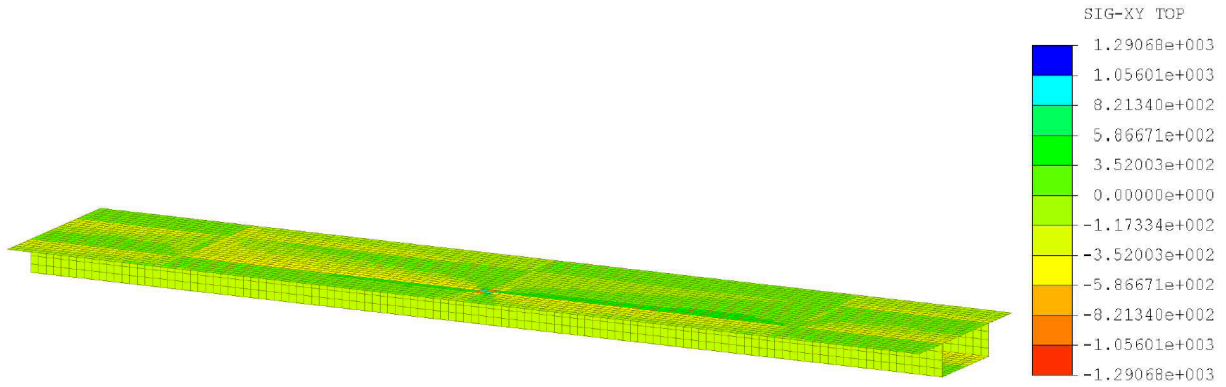


Figura 4.40 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 2

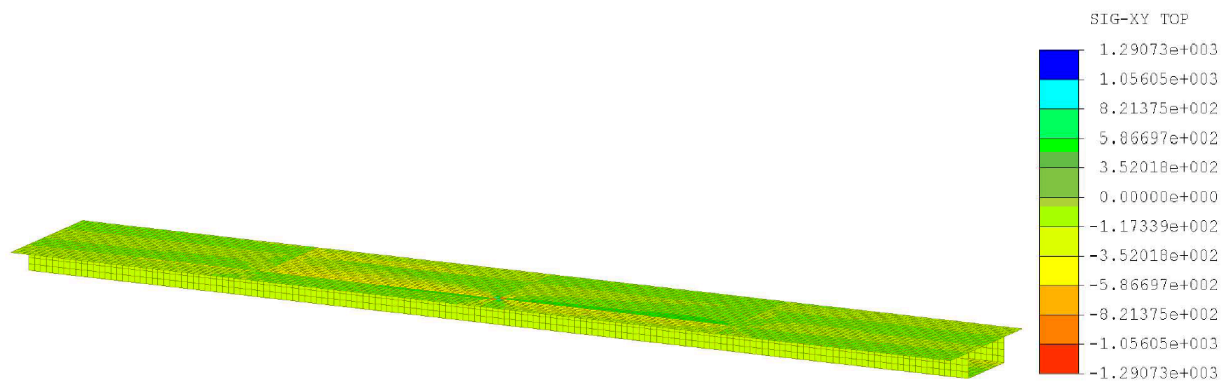


Figura 4.41 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 3

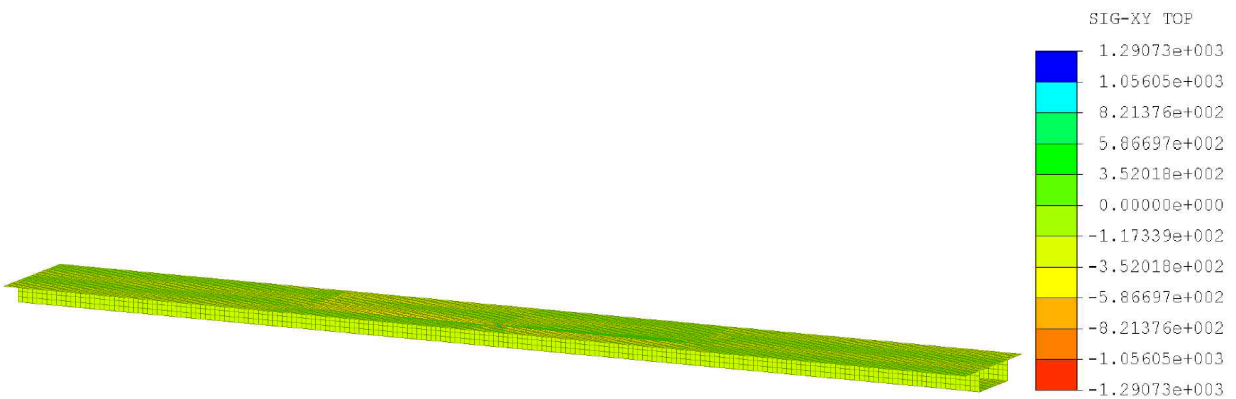


Figura 4.42 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 4

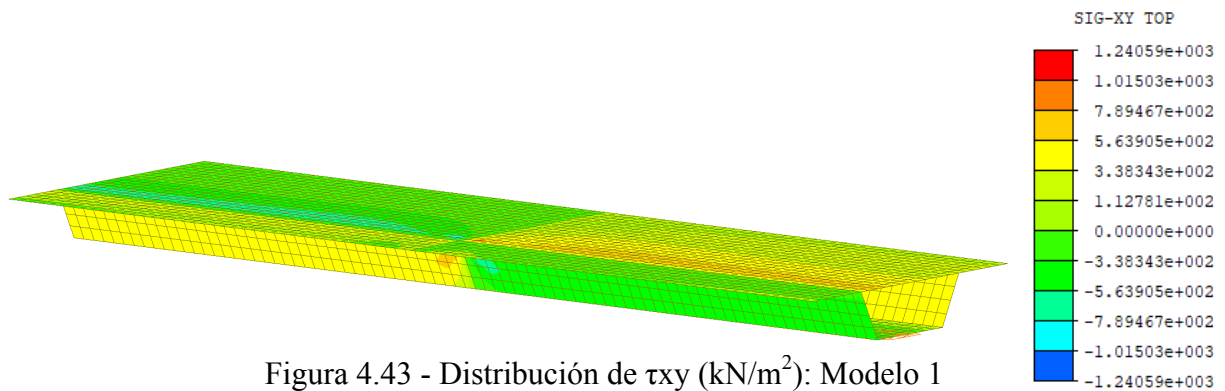


Figura 4.43 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 1

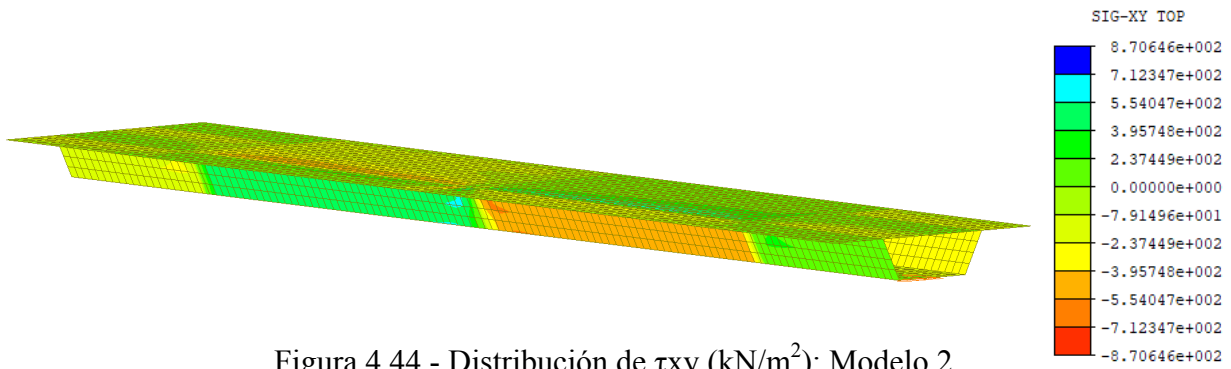


Figura 4.44 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 2

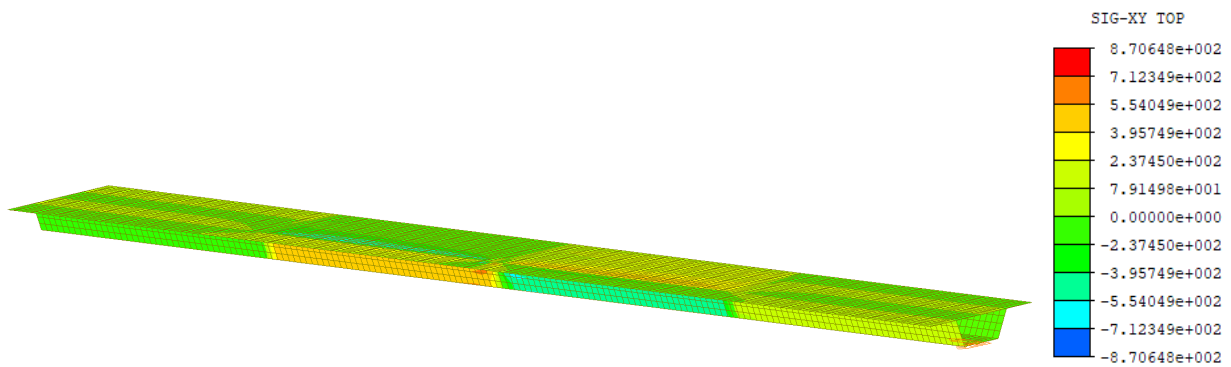


Figura 4.45 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 3

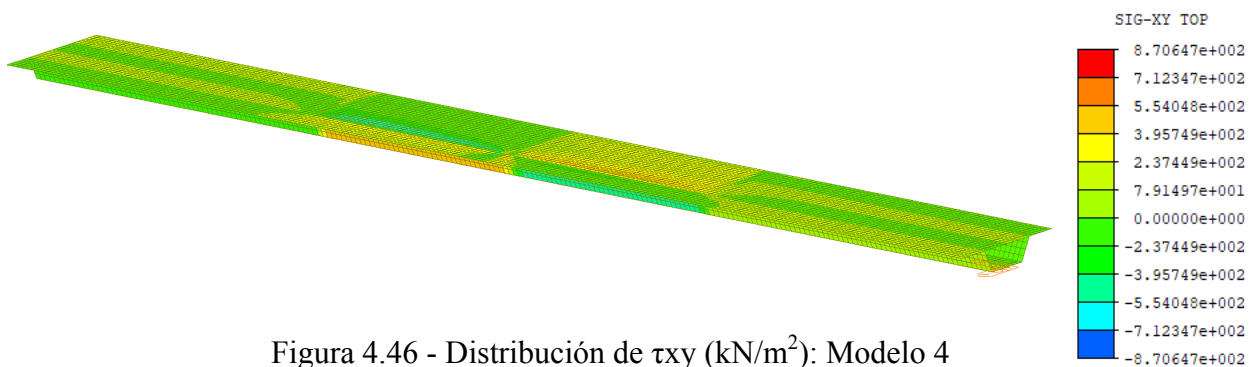


Figura 4.46 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²): Modelo 4

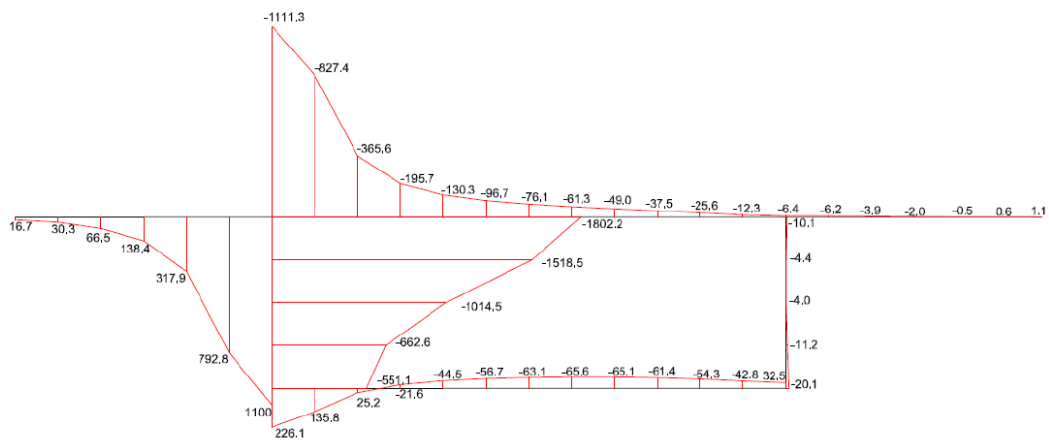


Figura 4.47 - Distribución de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 19.5$ m. Modelo 1

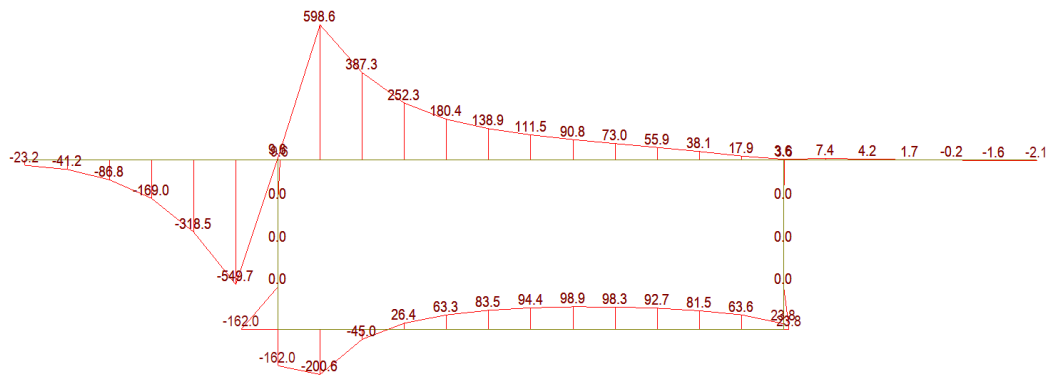


Figura 4.48 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 29.25$ m. Modelo 2

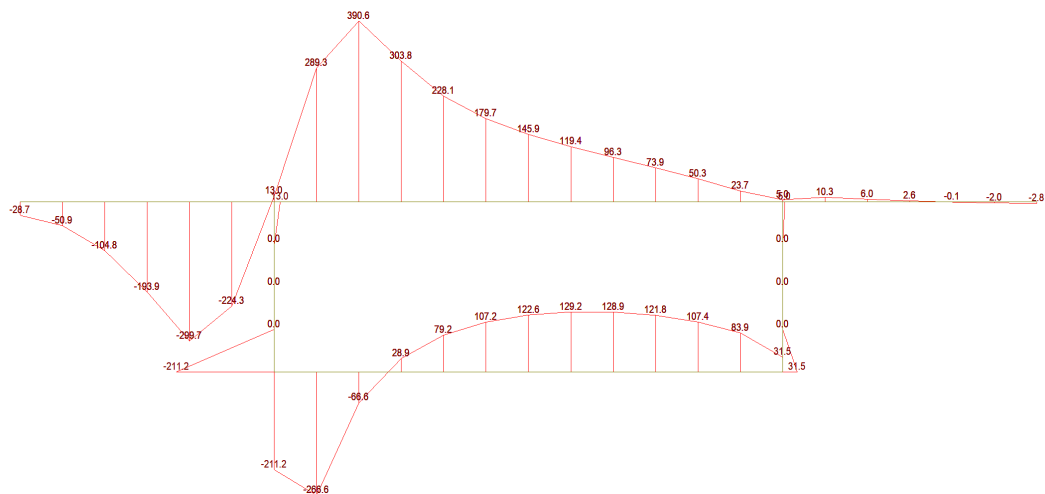


Figura 4.49 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 39$ m. Modelo 3

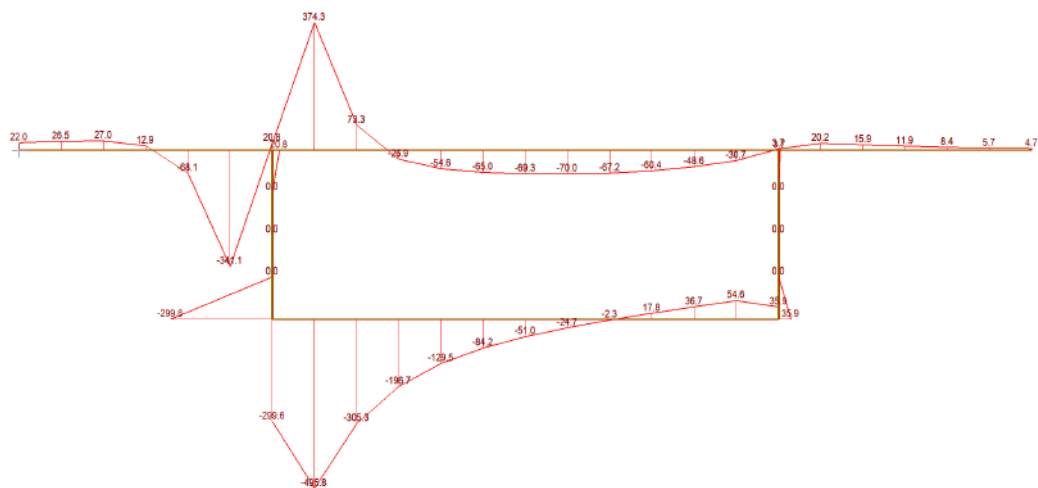


Figura 4.50 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m²) en la sección de $x = 48.75$ m. Modelo 4

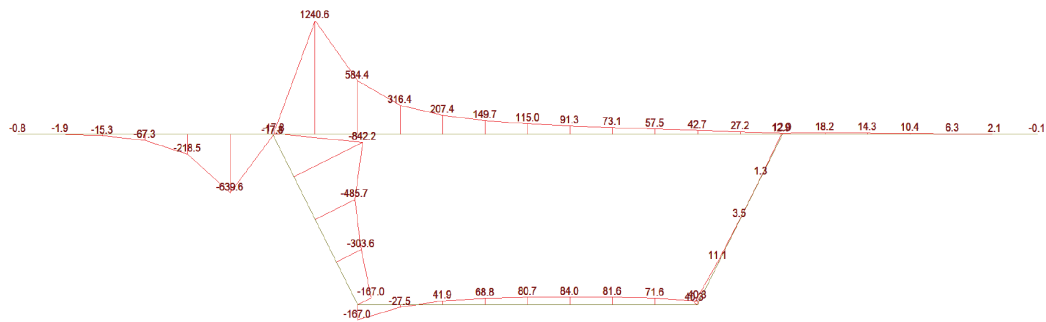


Figura 4.51 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 19.5$ m. Modelo 1

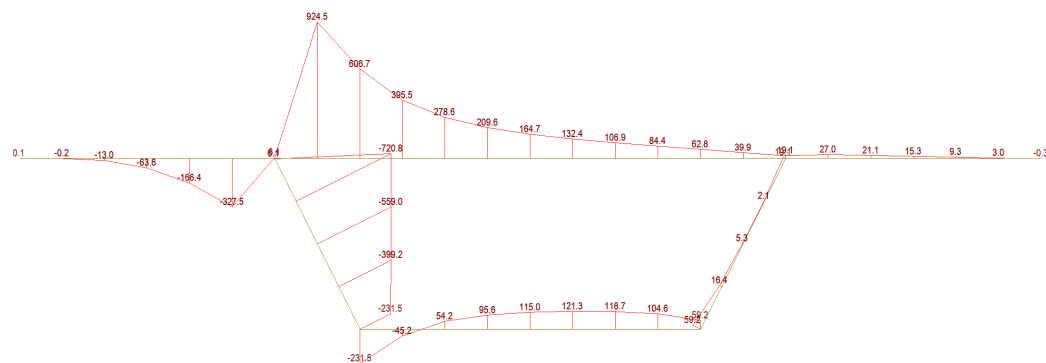


Figura 4.52 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 29.25$ m. Modelo 2

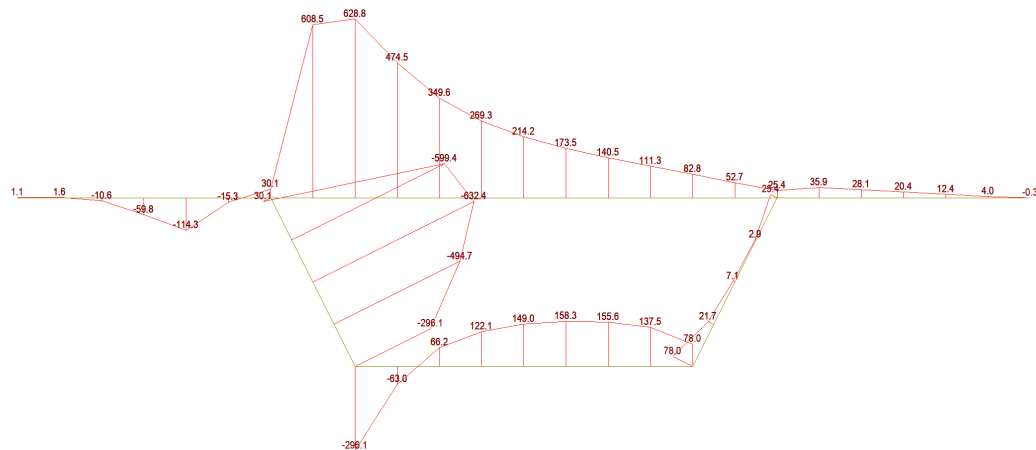


Figura 4.53 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 39$ m. Modelo 3

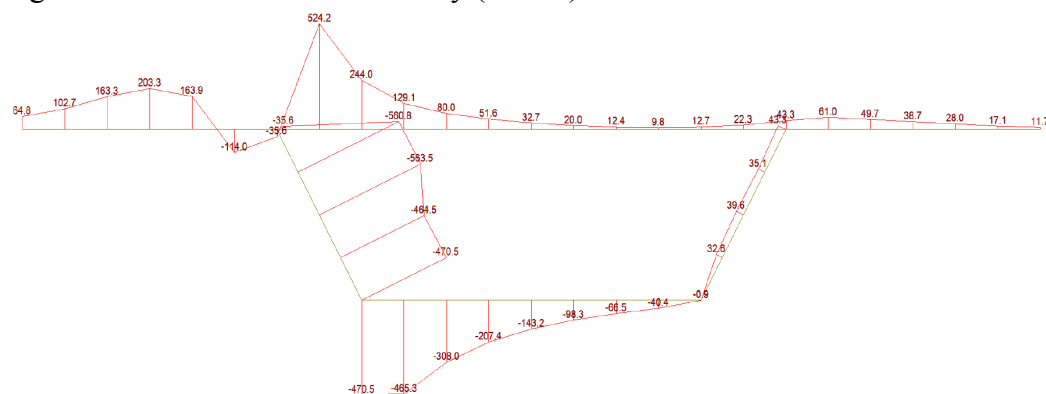


Figura 4.54 - Distribución de de τ_{xy} (kN/m^2) en la sección de $x = 48.75$ m. Modelo 4

La distribución a lo largo de la luz es semejante en todos los modelos, salvo en el punto de aplicación de la carga que existe una gran perturbación, y en los modelos con apoyos intermedios que también aparece una perturbación.

La carga puntual provoca una concentración de las tensiones tangenciales en las zonas próximas tanto en la losa superior como en el alma. La perturbación que aparece en el alma se disipa de forma rápida a medida que nos alejamos del punto de aplicación de la carga.

Las tensiones tangenciales máximas de los modelos de 60, 80 y 100 metros con almas rectas en la sección son idénticos. De la misma forma, las tensiones tangenciales de los modelos de 60, 80 y 100 metros con almas inclinadas en la sección son idénticos.

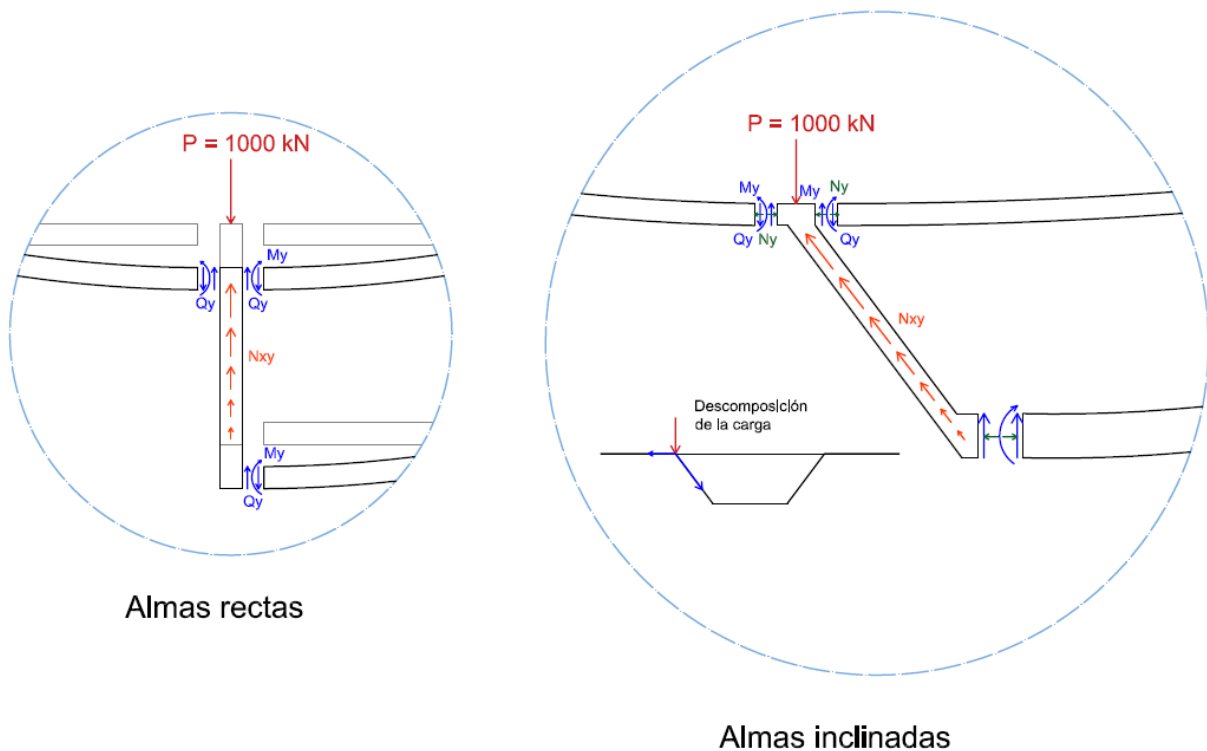
Lo que nos lleva a afirmar que se trata de un efecto local que no depende de la longitud del vano lateral.

El modelo que presenta una tensión tangencial menor es el modelo de 40 m con almas inclinadas.

4.5 Esfuerzos

Serán estudiados los cambios que se producen en los momentos flectores, axiles y cortantes en las zonas cercanas a la aplicación de las cargas para estudiar la influencia de la longitud de vanos e inclinación de las almas.

La repercusión de la inclinación de las almas en los esfuerzos, se puede observar en la descomposición de las cargas.



4.5.1 Momentos flectores transversales (M_y)

En el estudio de la influencia de la longitud de vanos e inclinación de las almas en la sección tipo cajón de puentes, observaremos la evolución de los momentos flectores en la sección central de cada modelo, así como la distribución a lo largo de la luz de los nodos 3 y 12.

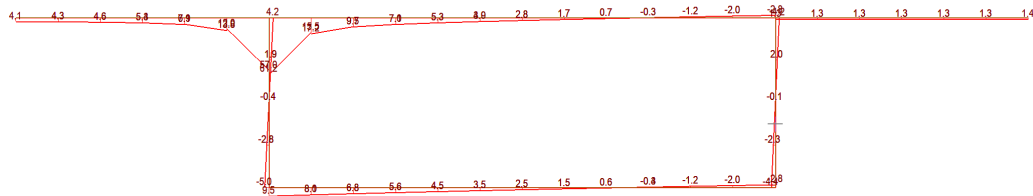


Figura 4.55 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 1

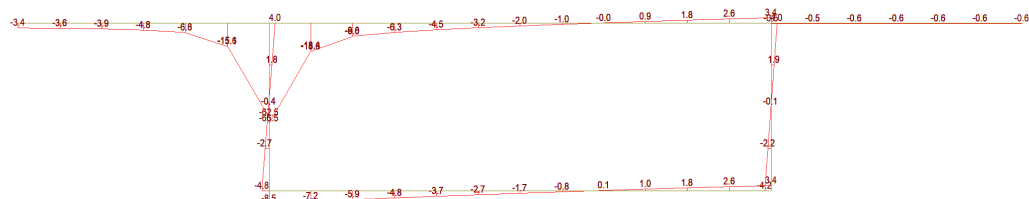


Figura 4.56 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 2

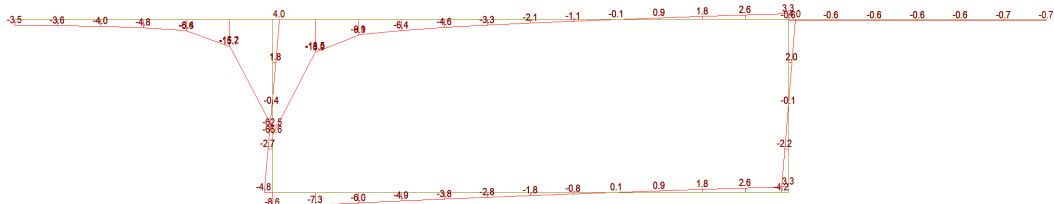


Figura 4.57 - Momento flector M_y (kN.m/m) en la sección central. Modelo 3

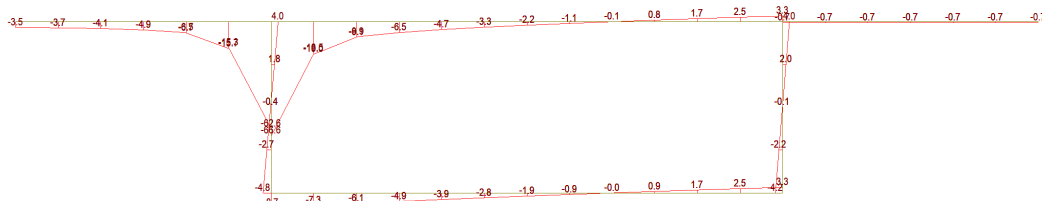


Figura 4.58 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 4

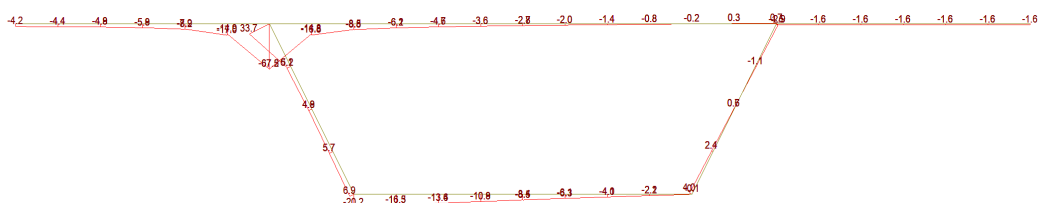


Figura 4.59 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 1

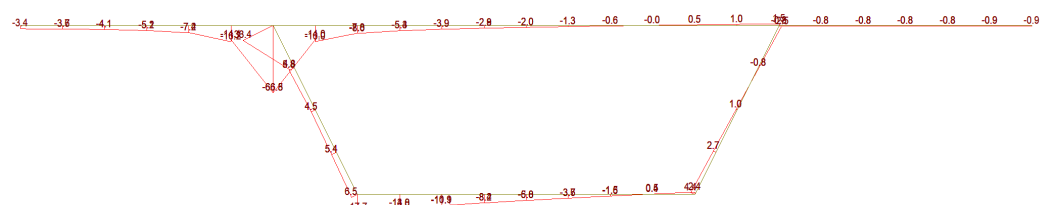


Figura 4.60 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 2

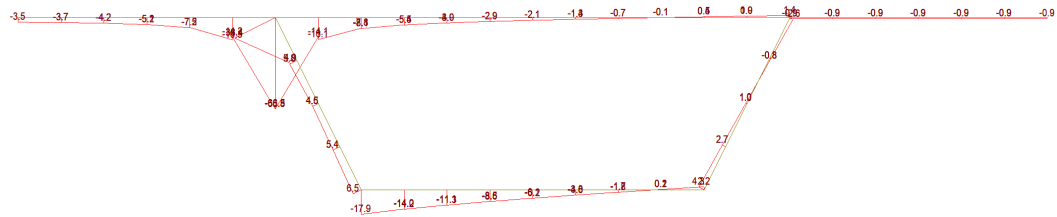


Figura 4.61 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 3

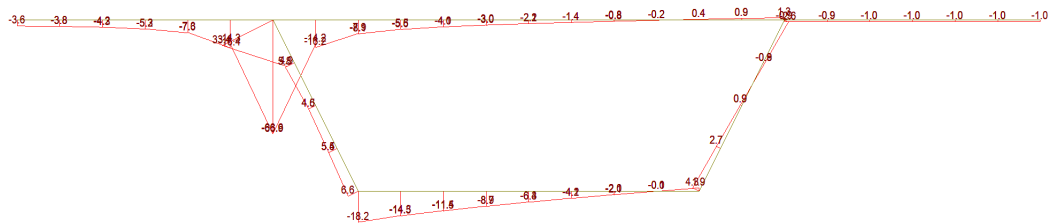
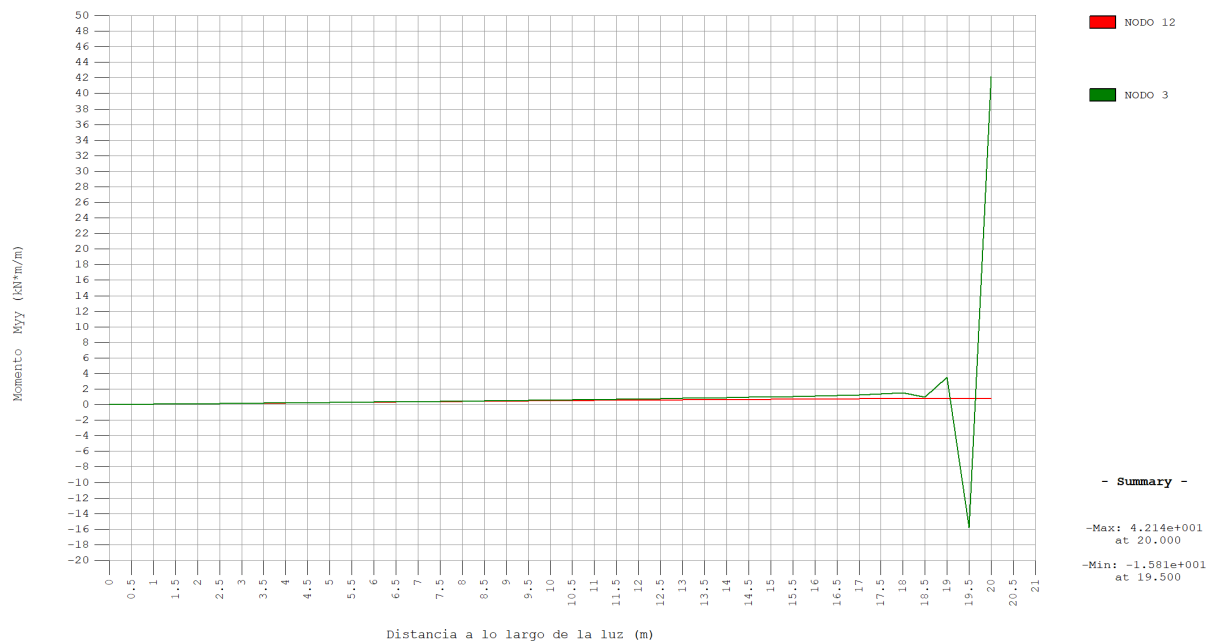
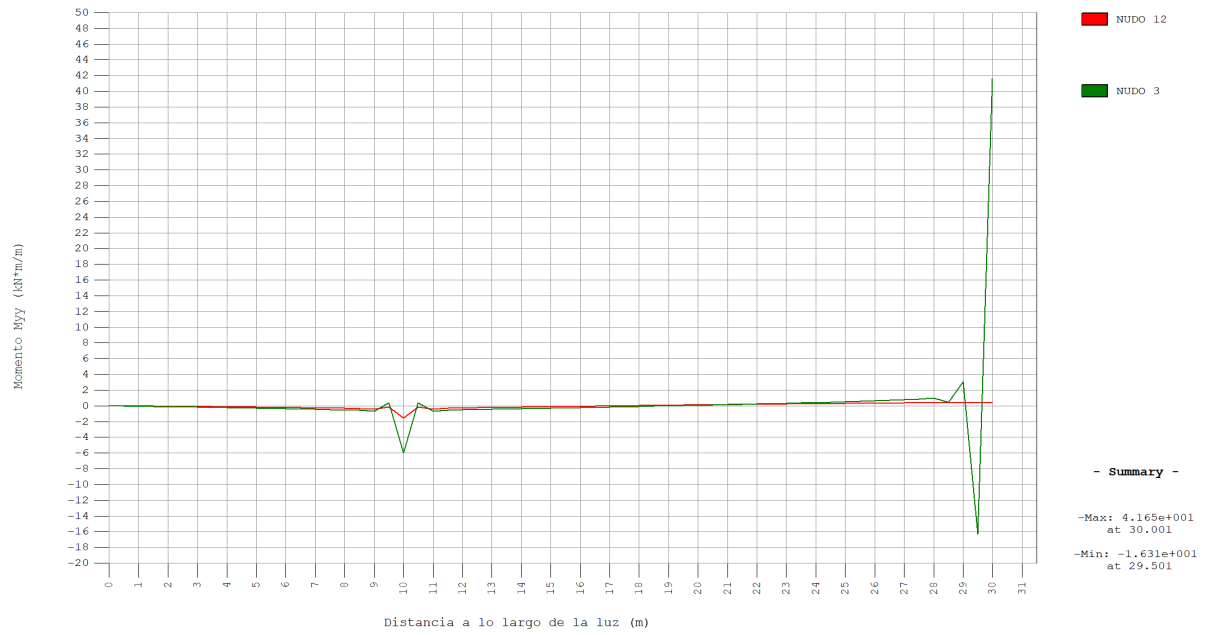


Figura 4.62 - Momento flector (kN.m/m) en la sección central. Modelo 4



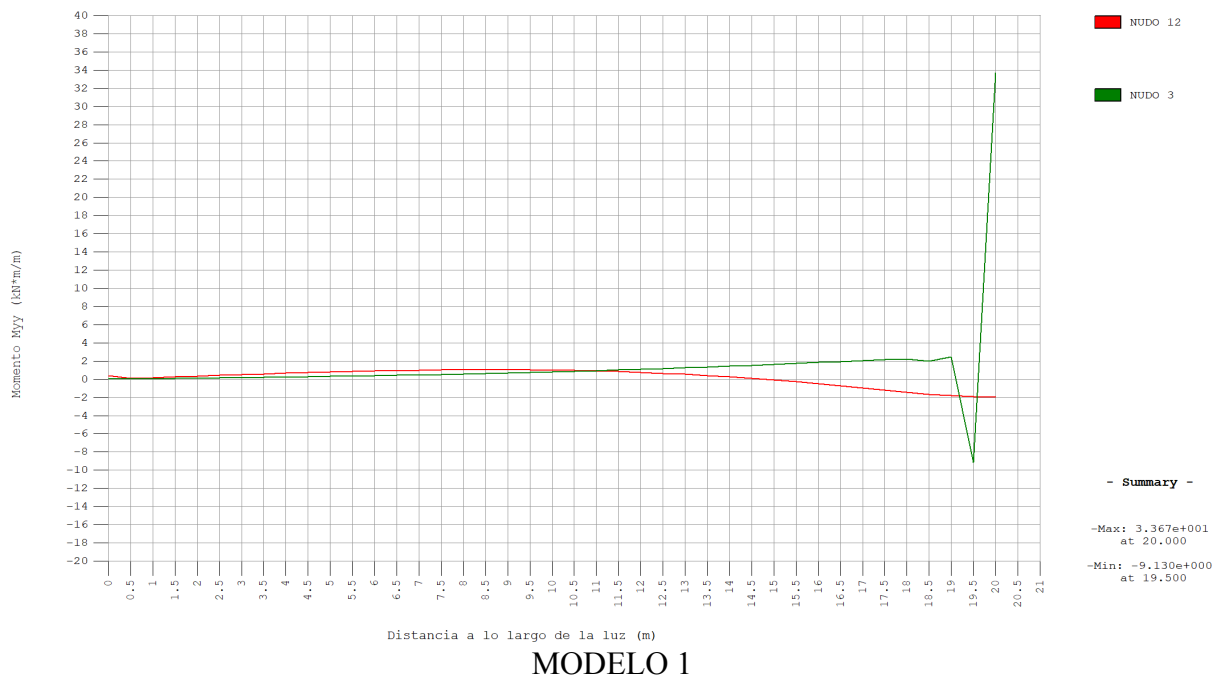
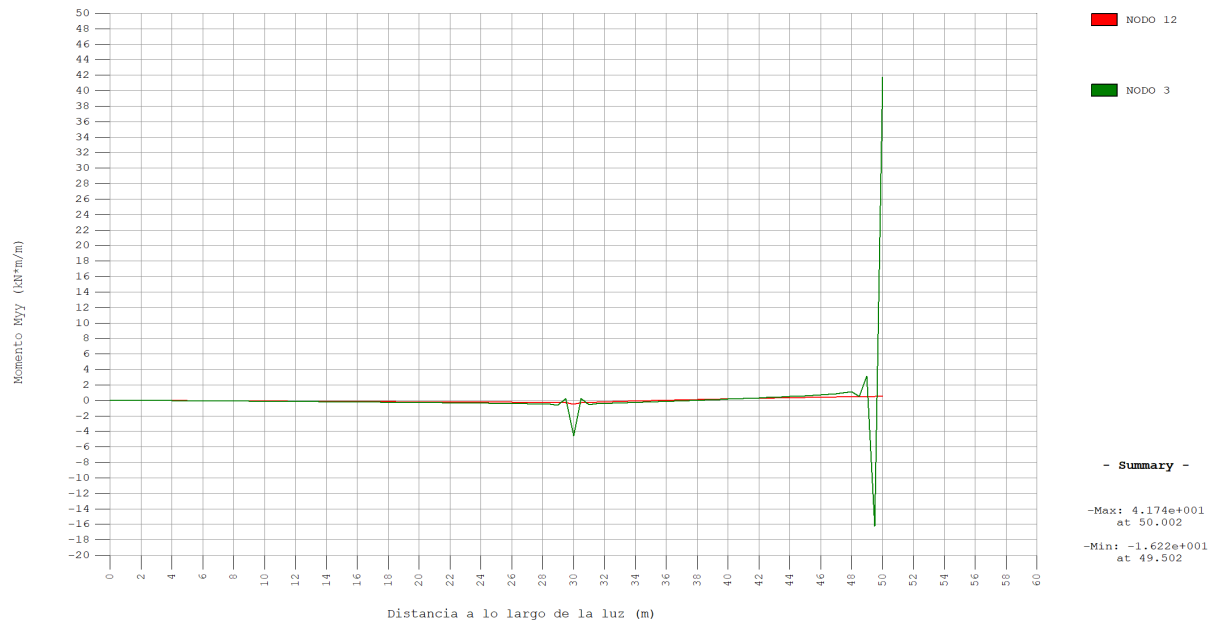
MODELO 1

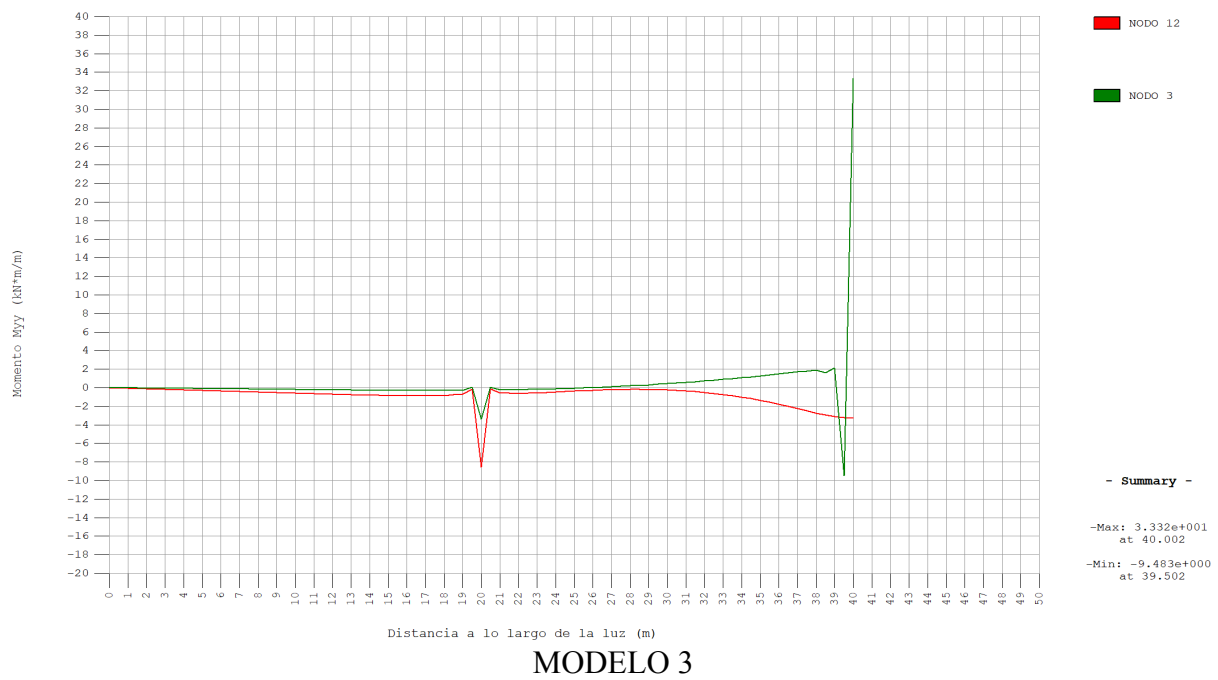
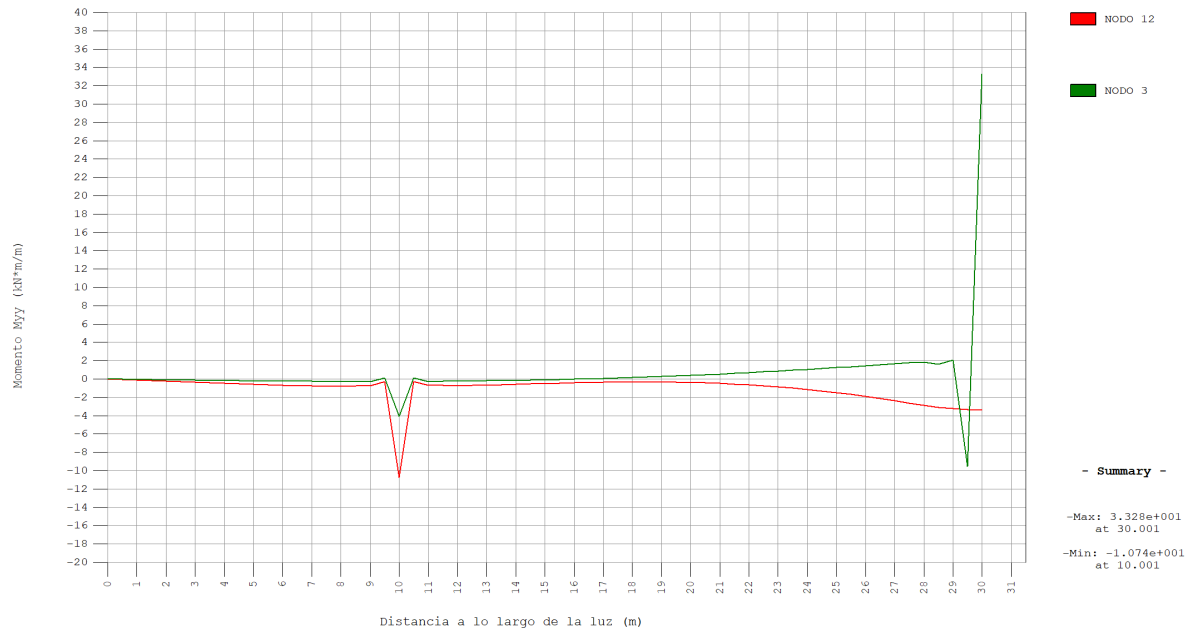


MODELO 2



MODELO 3







MODELO 4

Figura 4.64 - Distribución del momento flector M_y (kN.m/m) almas inclinadas

Todos los modelos presentan similitud en las distribuciones del momento flector, apareciendo una cierta alteración en la zona próxima a la aplicación de la carga, nodo 3. Existe, también, una pequeña alteración en las secciones donde aparecen apoyos.

Los momentos flectores se dividen en dos grupos, dentro de los cuales son prácticamente constantes, modelos con secciones que presentan almas rectas y almas inclinadas. En general, son menores los que presentan almas inclinadas, excepto el nodo 3 que aumenta.

La losa inferior, debido a que presenta un menor tamaño en modelos con almas inclinadas presenta unos esfuerzos por unidad de longitud mayor.

Podemos afirmar que la variación que produce la variación de longitud es despreciable ya que valores y distribuciones son similares. Mientras que la inclinación de las almas tiene una pequeña contribución.

4.5.2 Axiles transversales (N_y)

La inclinación de las almas es un parámetro importante en los esfuerzos axiles, que compensan la componente horizontal que produce el cortante en el alma inclinada

Serán estudiadas la distribución que presentan los modelos en la sección central y la distribución del nodo 3 a lo largo de la luz. En la sección central, además de aplicarse la carga, se produce la rápida atenuación y homogeneización de los esfuerzos.

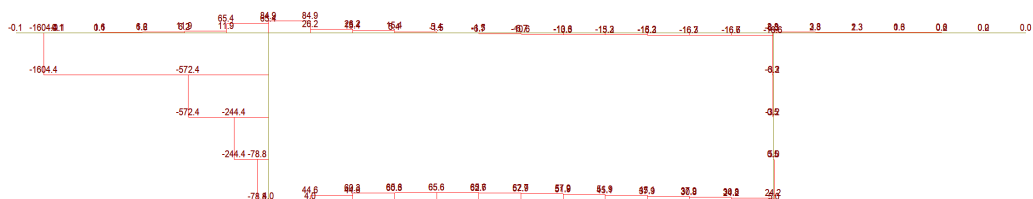


Figura 4.65 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 1

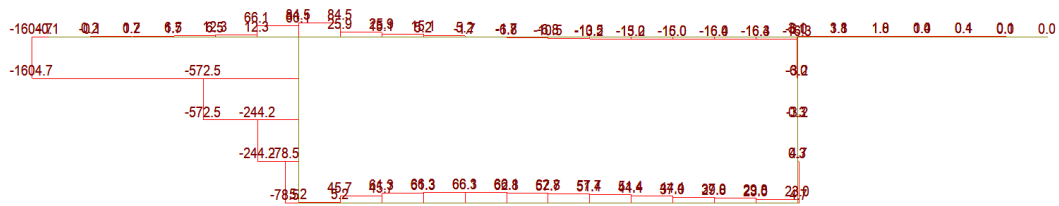


Figura 4.66 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 2

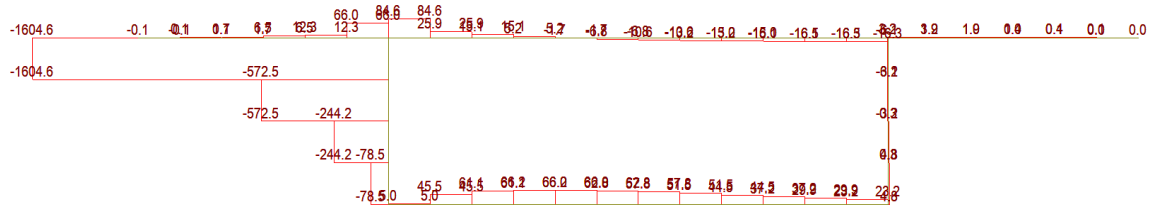


Figura 4.67 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 3

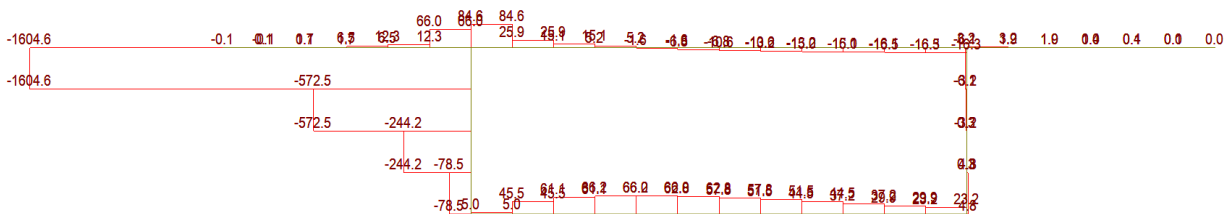


Figura 4.68 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 4

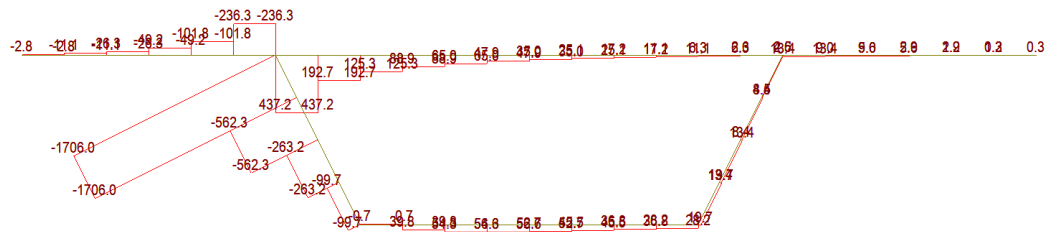


Figura 4.69 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 1

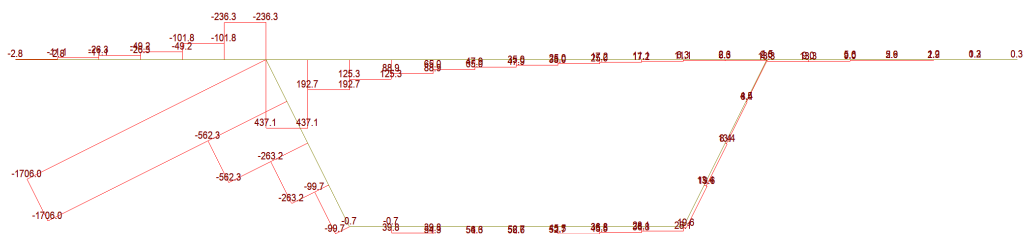


Figura 4.70 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 2

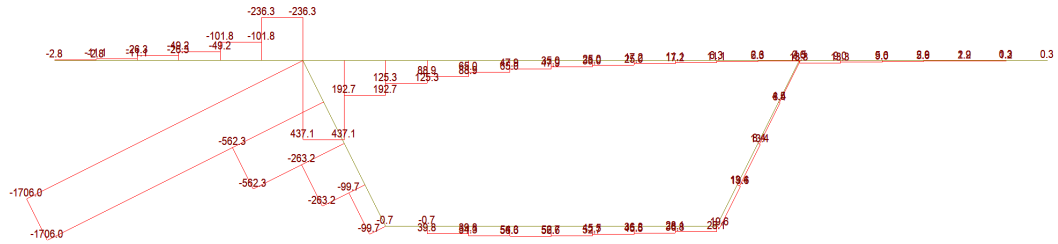


Figura 4.71 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 3

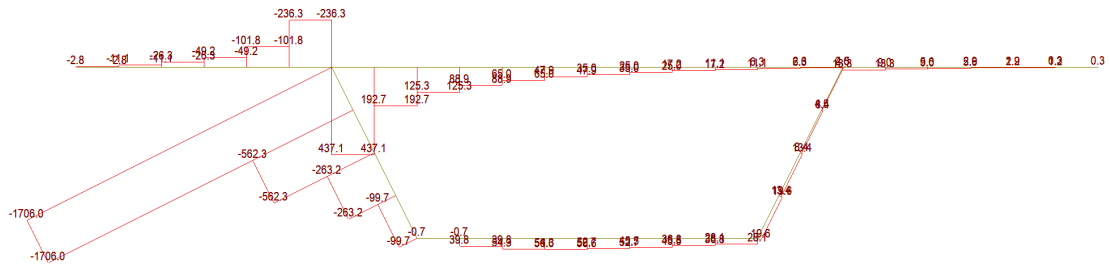
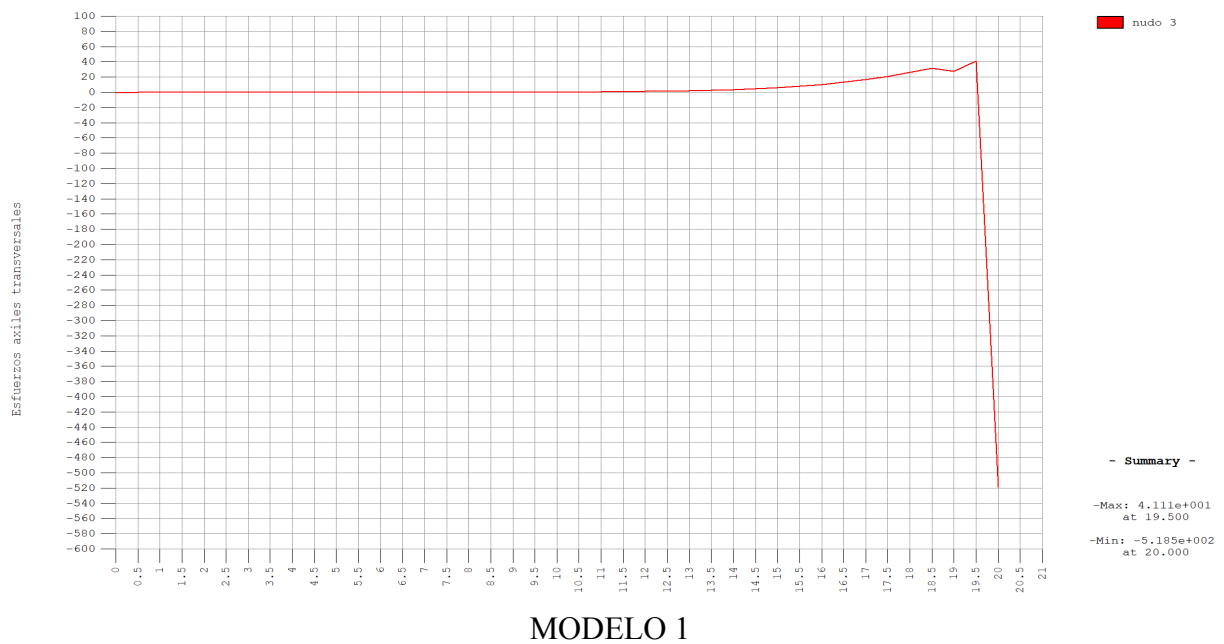
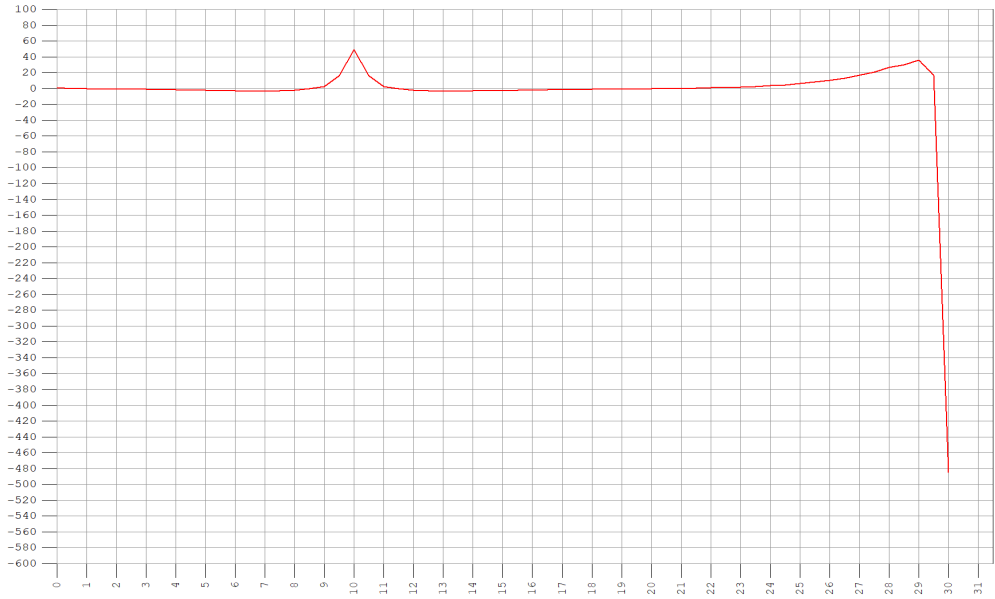


Figura 4.72 - Axiles transversales N_y (kN/m) en la sección central. Modelo 4



Esfuerzos axiales transversales



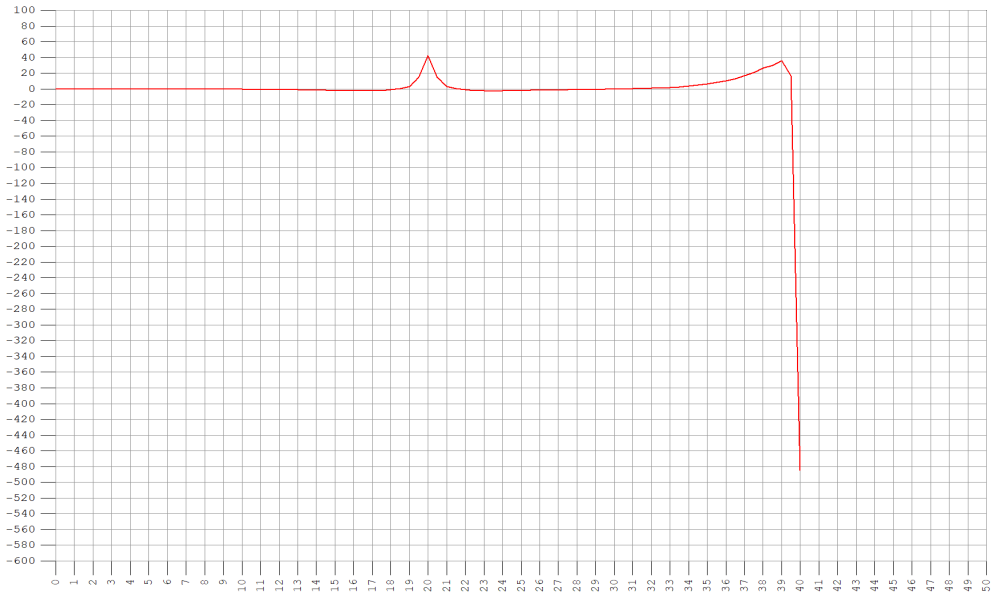
■ NUDO 3

- Summary -

-Max: 4.873e+001
at 10.001
-Min: -4.847e+002
at 30.001

MODELO 2

Esfuerzos axiales transversales



■ NODO 3

- Summary -

-Max: 4.263e+001
at 20.002
-Min: -4.847e+002
at 40.002

MODELO 3

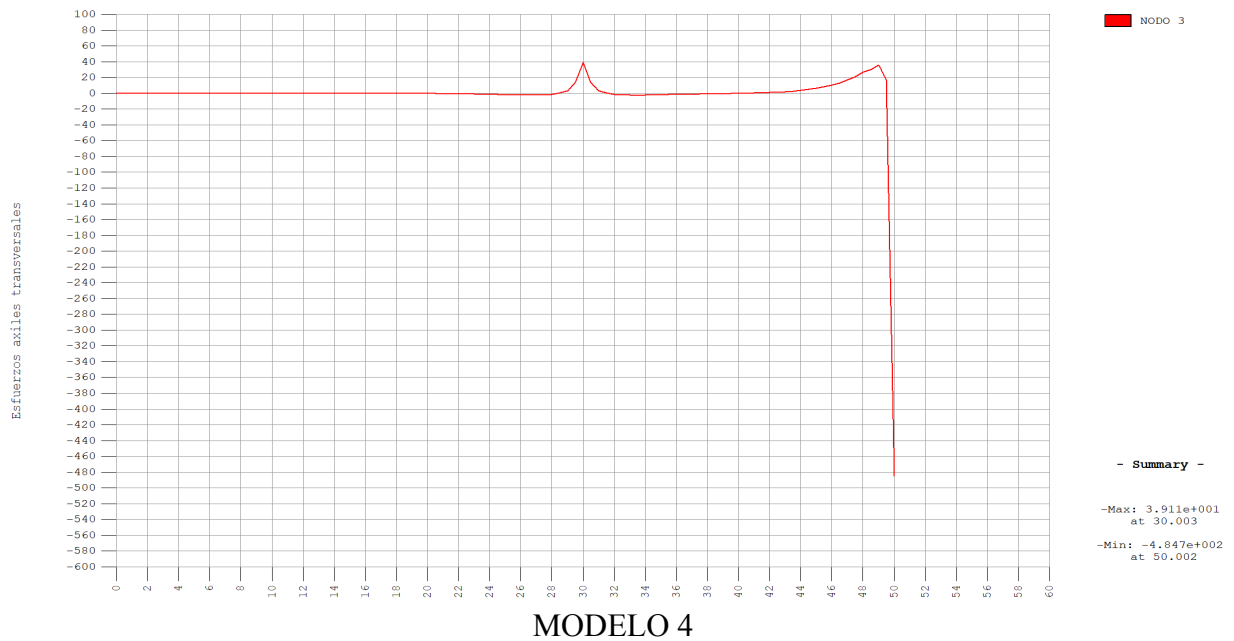
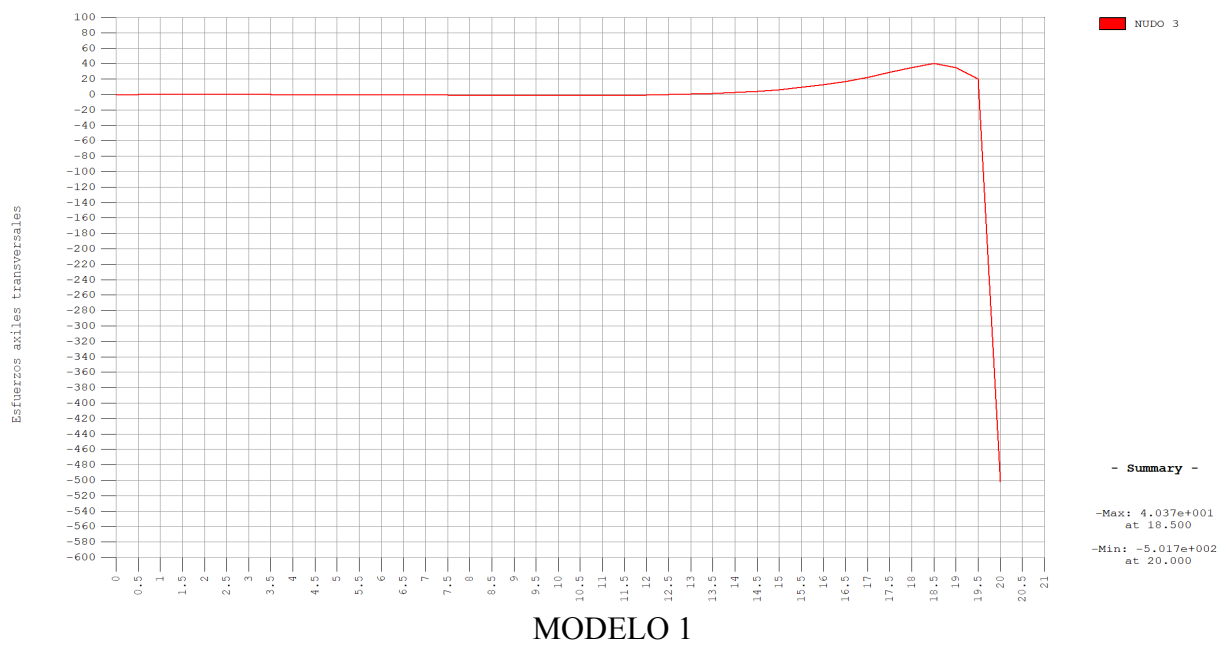
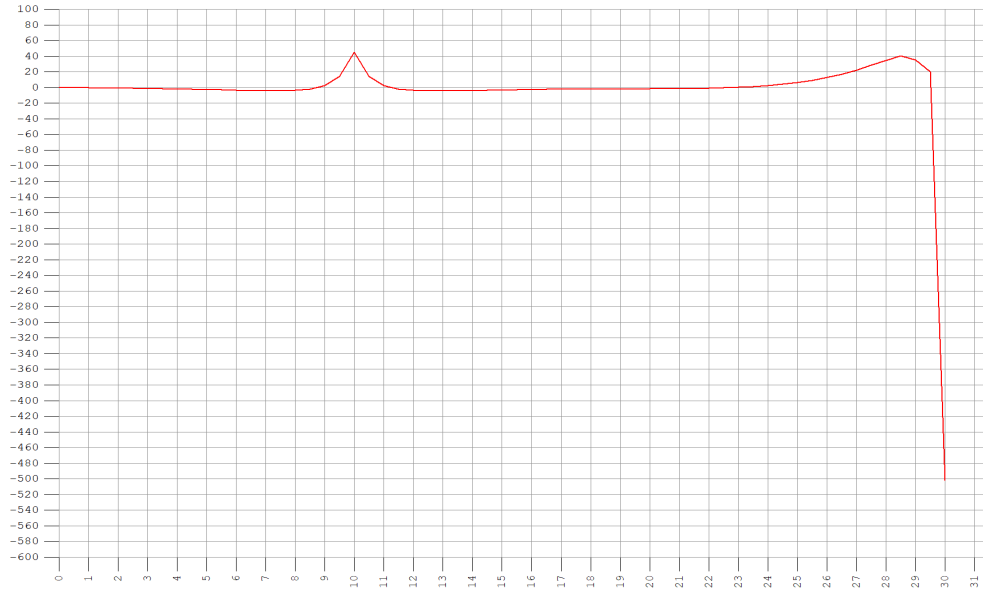


Figura 4.73 - Distribución del esfuerzo axial transversal N_y (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas rectas



Esfuerzos axiales transversales



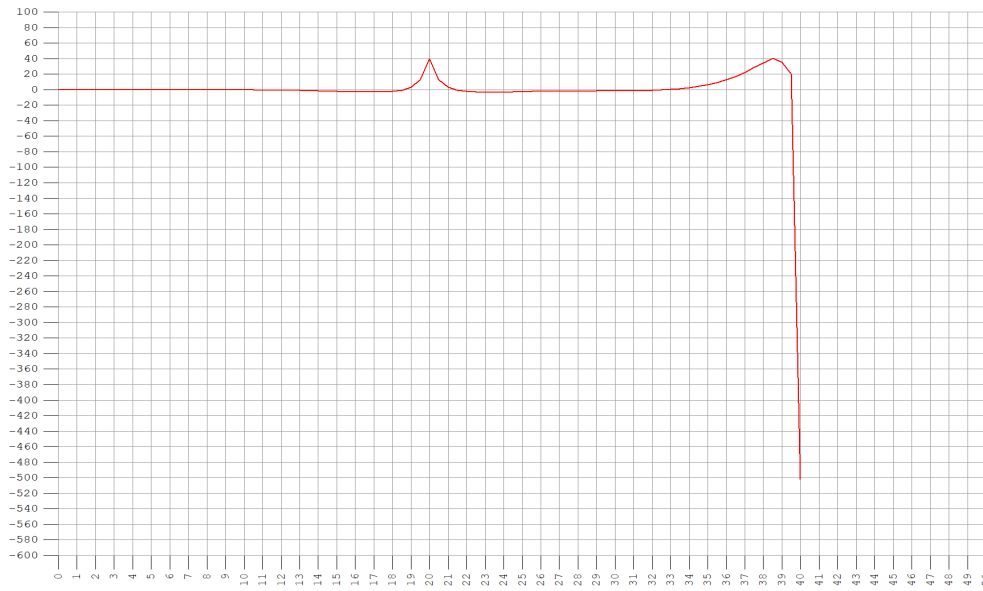
NODO 3

- Summary -

-Max: 4.469e+001
at 10.001
-Min: -5.017e+002
at 30.001

MODELO 2

Esfuerzos axiales transversales



NODO 3

- Summary -

-Max: 4.036e+001
at 38.502
-Min: -5.017e+002
at 40.002

MODELO 3

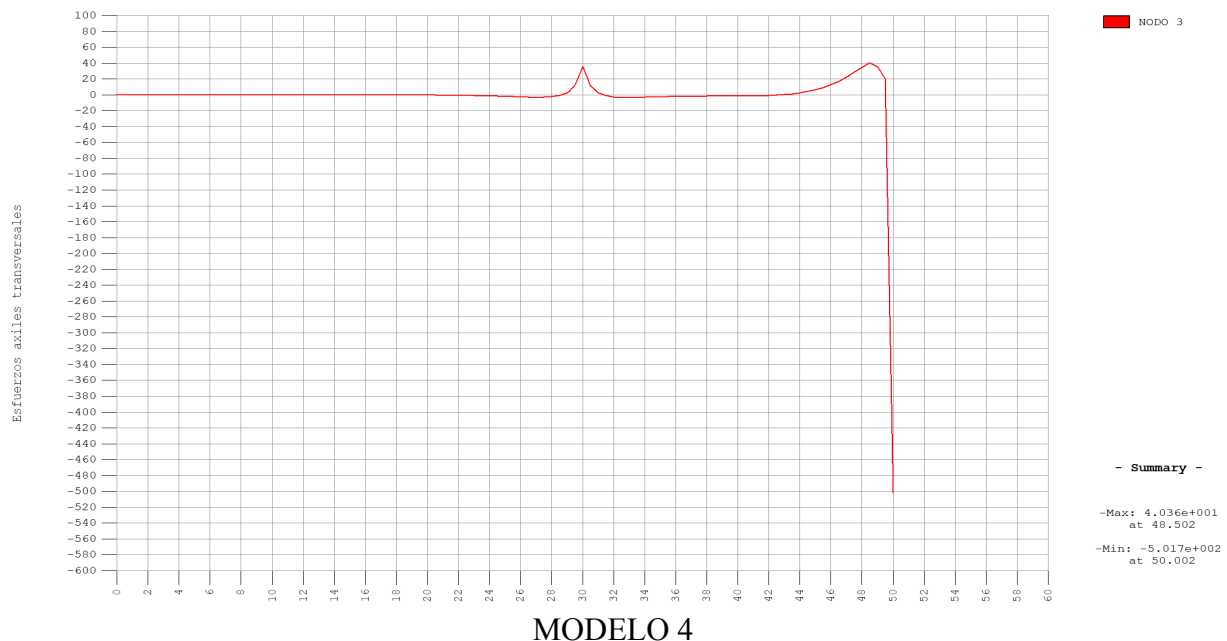


Figura 4.74 - Distribución del esfuerzo axial transversal N_y (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas inclinadas

En los modelos con almas inclinadas vemos como los esfuerzos de la losa superior aumentan respecto de almas rectas.

Este fenómeno se produce debido a que la carga se descompone en el alma y en la losa. Por este motivo, en el caso de alma recta es casi despreciable.

Es posible observar en las distribuciones a lo largo de la luz del nudo 3 que la perturbación que se produce debido a la aplicación de la carga es rápidamente dispersada.

El axil de la losa superior no se ve afectado por la longitud de los vanos laterales.

4.5.3 Cortantes (N_{xy})

La influencia del cortante será estudiada en las secciones próximas a la zona de aplicación de la carga puntual, por ser la más desfavorable. Serán también representadas las distribuciones del nudo 3 a lo largo de la luz.

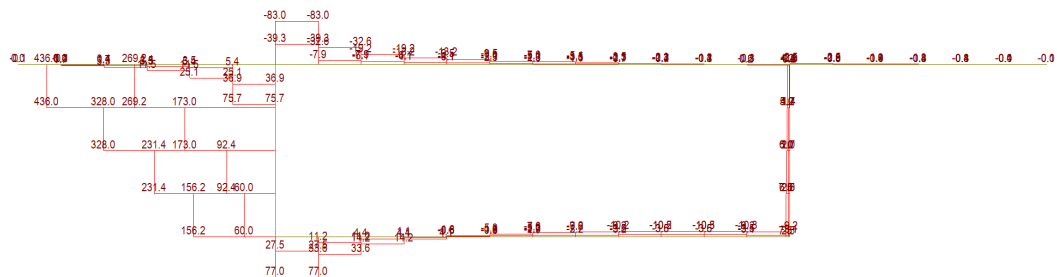
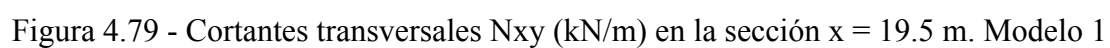
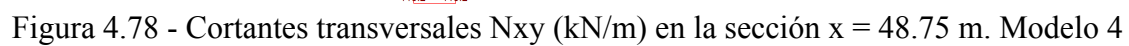
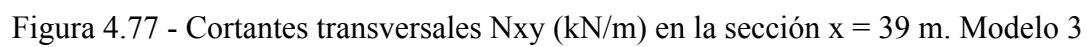
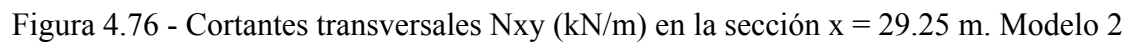


Figura 4.75 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 19.5$ m. Modelo 1



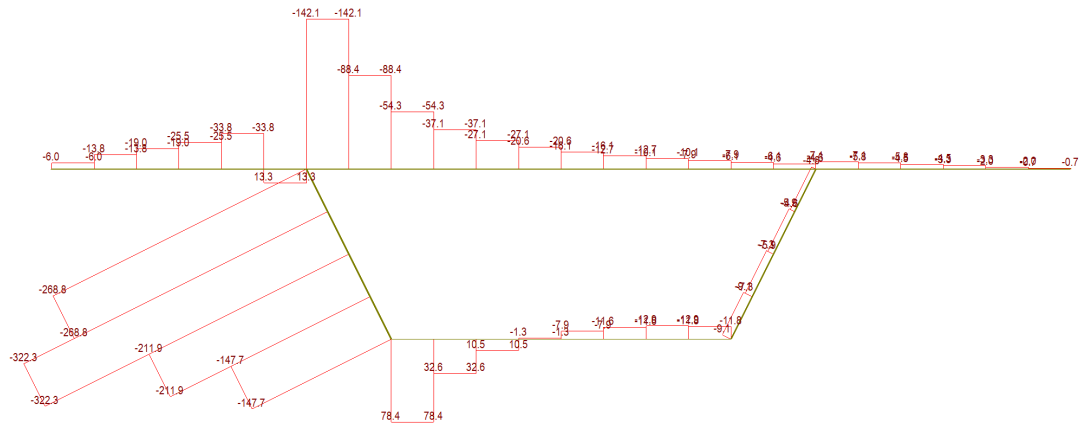


Figura 4.80 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 29.25$ m. Modelo 2

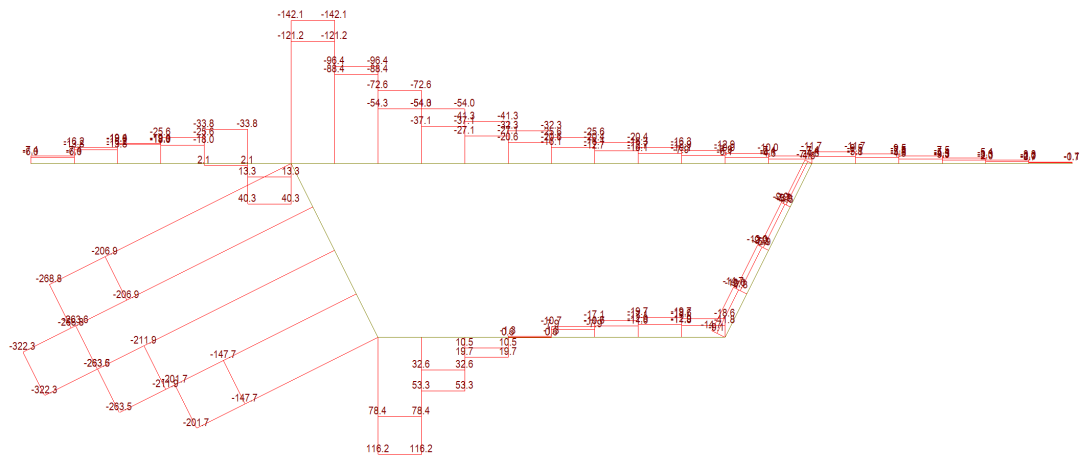


Figura 4.81 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 39$ m. Modelo 3

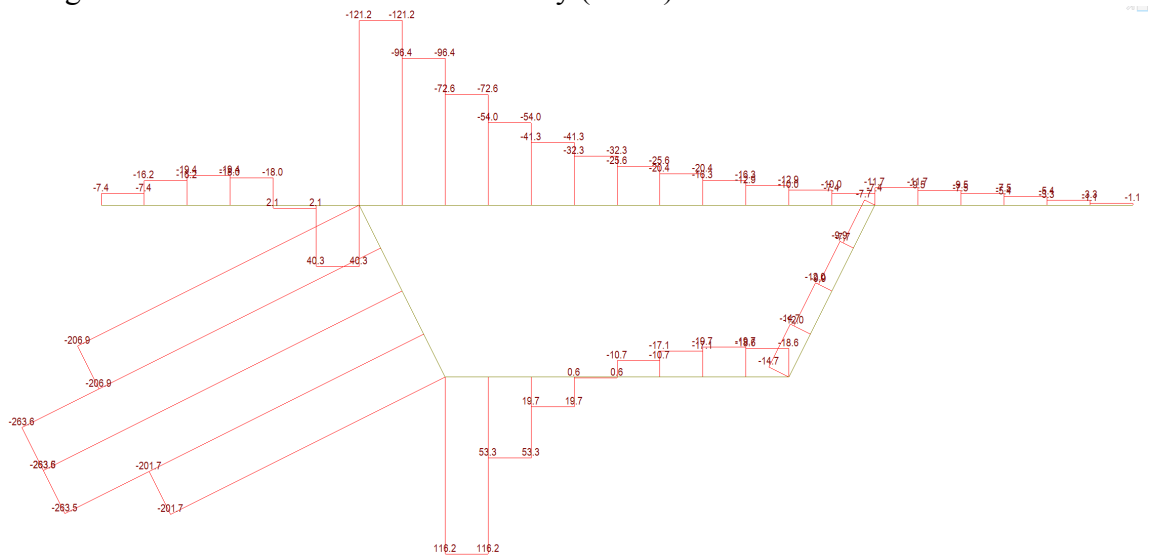


Figura 4.82 - Cortantes transversales N_{xy} (kN/m) en la sección $x = 48.75$ m. Modelo 4

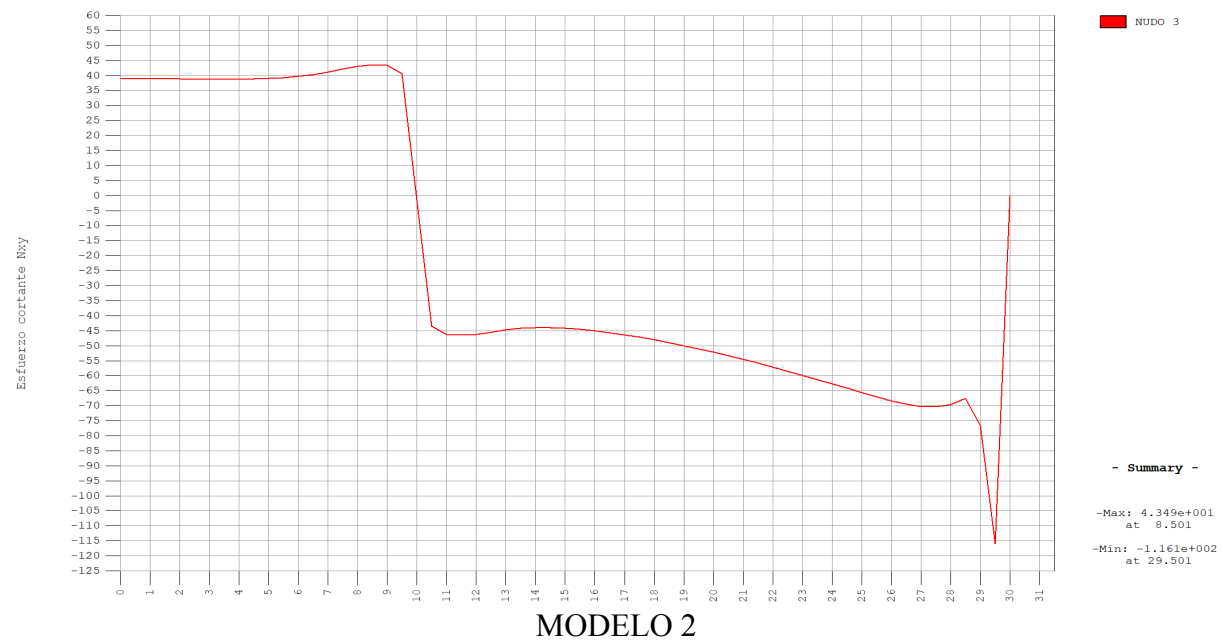
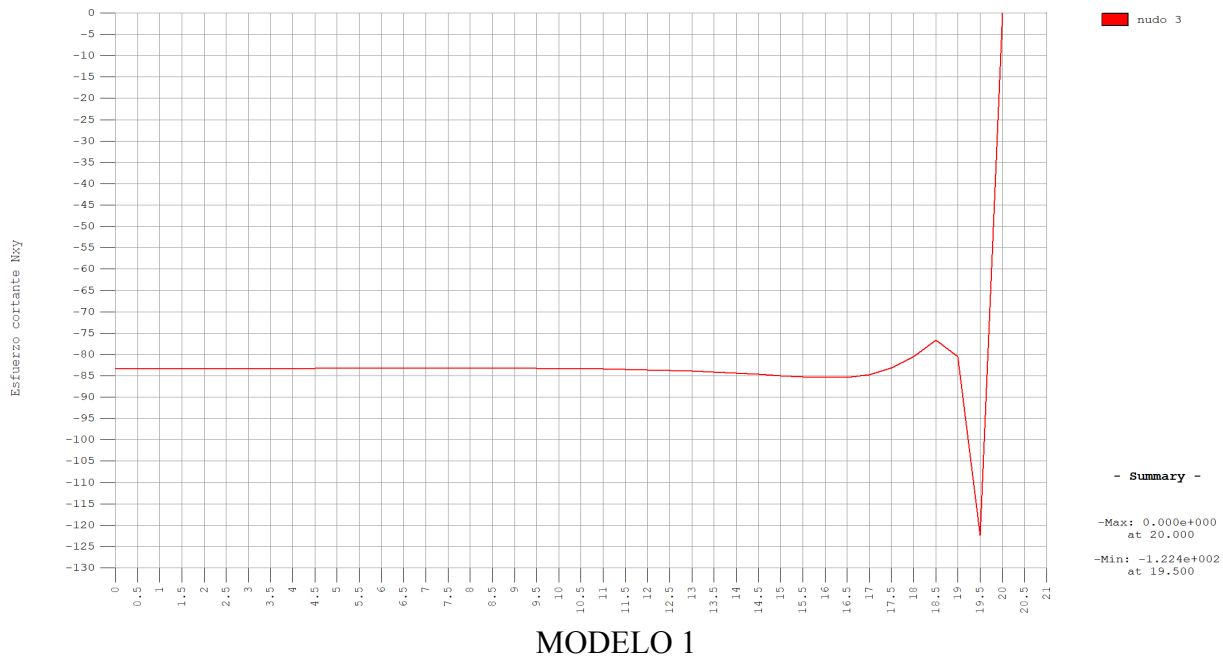
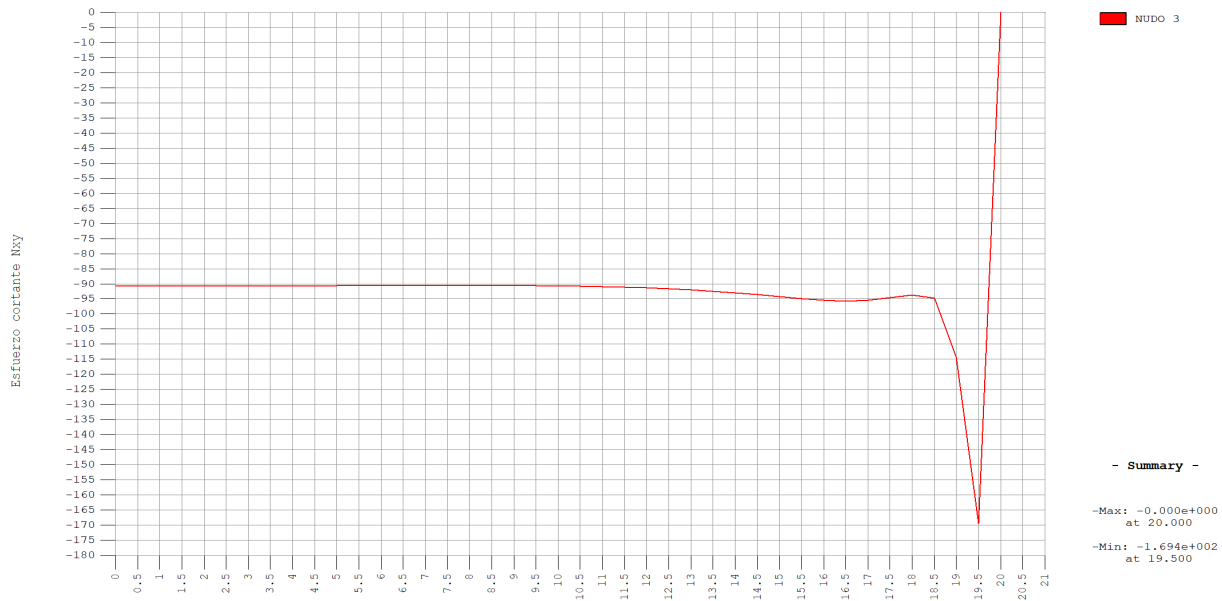
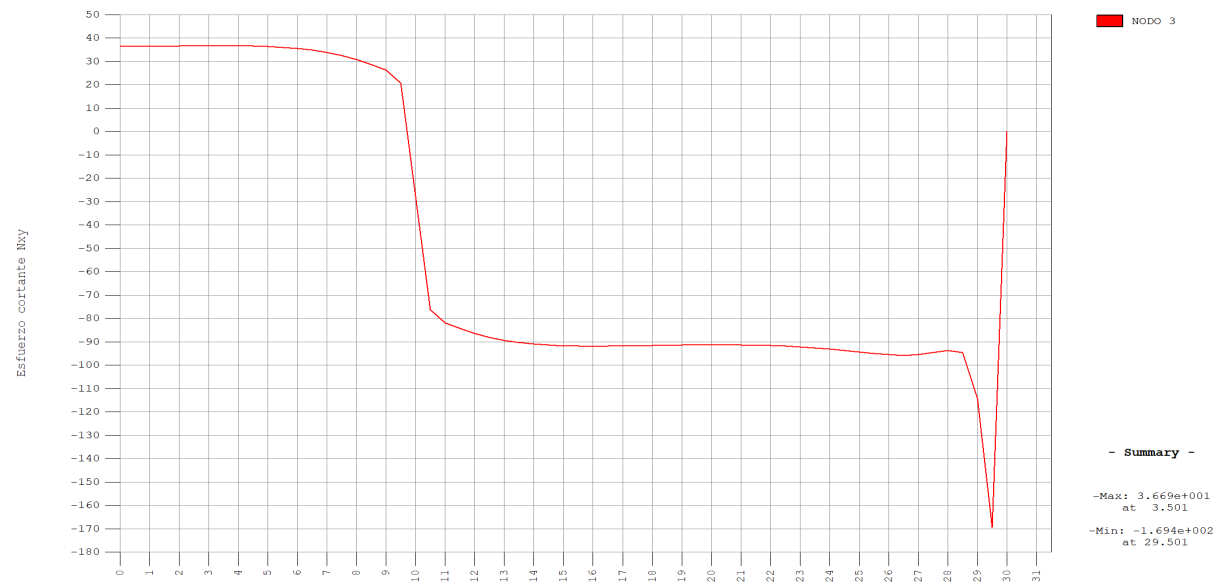




Figura 4.83 - Distribución del esfuerzo cortante N_{xy} (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas rectas



MODELO 1



MODELO 2

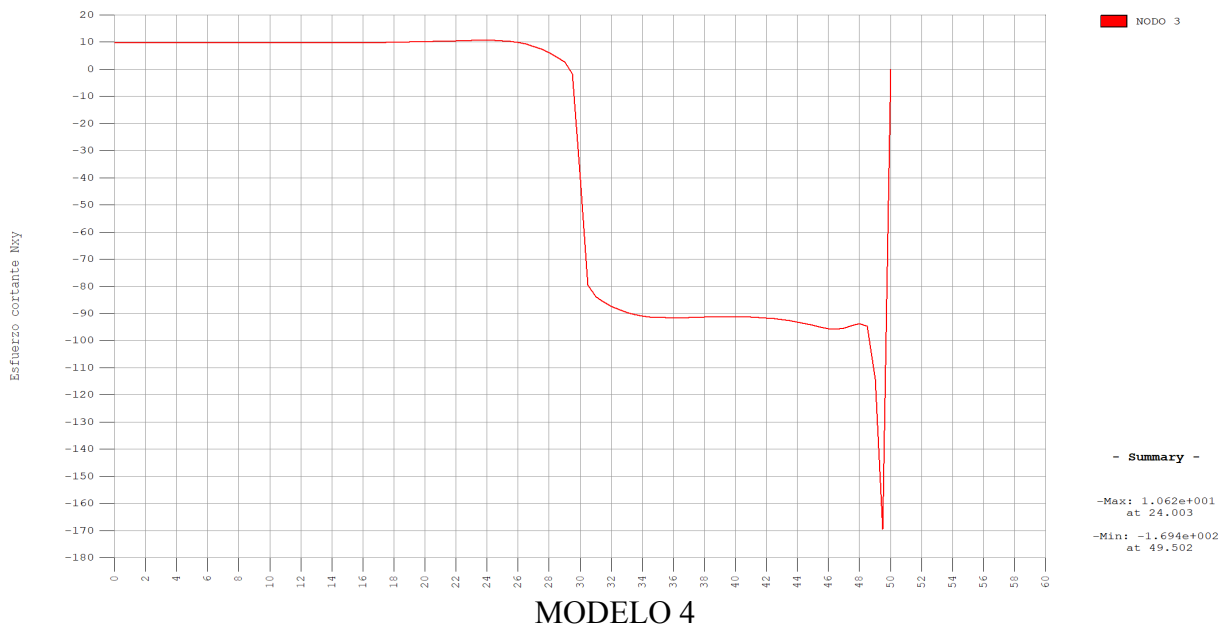
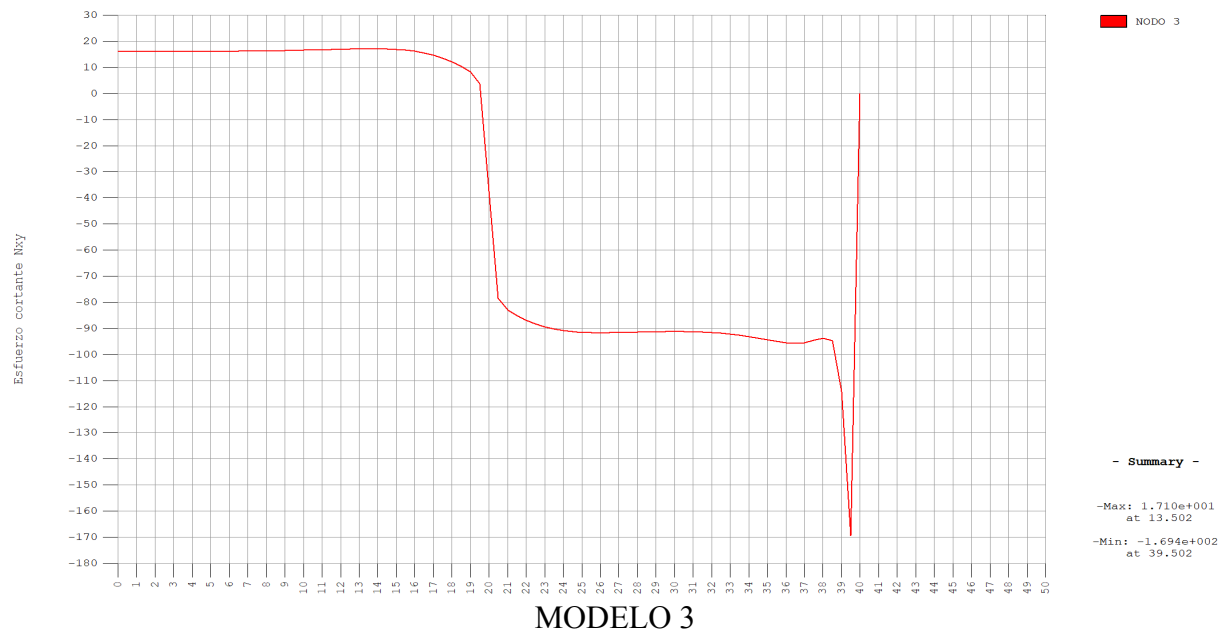


Figura 4.84 - Distribución del esfuerzo cortante N_{xy} (kN/m) en el nudo 3 a lo largo de la luz en modelos con almas inclinadas

El modelo que presenta menores esfuerzos cortantes es el modelo de 100 m con almas inclinadas. A medida que los esfuerzos cortantes van disminuyendo en el alma, aumentan en la losa superior. Esto se debe a que la inclinación de las almas favorece la redistribución de los esfuerzos en los diferentes componentes de la sección, como consecuencia de la mayor longitud del alma.

Las distribuciones de los esfuerzos cortantes presentan cierta similitud existiendo una gran excitación en la zona próxima a la aplicación de la carga y en las secciones de los apoyos intermedios. La distribución entre apoyos y apoyos y punto de aplicación de la carga tienen cierta linealidad.

La longitud de los vanos laterales no afecta a N_{xy} .

Para finalizar con el análisis de los esfuerzos, podemos resumir la influencia de la longitud de vanos e inclinación de las almas: Los esfuerzos flectores transversales no dependen de la inclinación, mientras que la inclinación favorece la redistribución de los esfuerzos axiales transversales y los esfuerzos cortantes, van disminuyendo en el alma, mientras que aumenta en la losa superior.

4.6 Corroboración de los resultados: otras cargas

Han sido analizados solo determinadas situaciones de carga y localización de la sección. A continuación, el estudio se lleva a cabo de una forma más completa teniendo en cuenta cargas alternativas, así como zonas de estudio diferentes.

4.6.1 Desplazamientos

Se analizarán todas las cargas puntuales y las cargas distribuidas, obteniendo los desplazamientos para los 4 modelos en la sección central y en los nodos 1, 3, 5, 7, 9, 10 y 12. Se muestran también la distribución para los nodos 3 y 10 centrándonos en la influencia que tiene los diferentes modelos y cargas.

CARGA PUNTUAL 1

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00053	-0.09605	0.00048	-0.08806	0.00049	-0.08874	0.00049	-0.08939
NUDO 3	0.00049	-0.01558	0.00046	-0.00844	0.00046	-0.00911	0.00047	-0.00975
NUDO 5	0.00039	-0.00767	0.00038	-0.00071	0.00038	-0.00136	0.00038	-0.00200
NUDO 7	0.00034	-0.01037	0.00035	-0.00346	0.00035	-0.00411	0.00035	-0.00475
NUDO 9	0.00031	-0.01170	0.00033	-0.00468	0.00033	-0.00534	0.00033	-0.00599
NUDO 10	-0.00011	-0.01552	-0.00014	-0.00838	-0.00014	-0.00905	-0.00014	-0.00969
NUDO 12	0.00005	-0.01037	-0.00003	-0.00347	-0.00002	-0.00411	-0.00002	-0.00475

Tabla 4.9 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 1 modelo rectos

CARGA PUNTUAL 2

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00034	-0.04403	0.00030	-0.03664	0.00030	-0.03731	0.00031	-0.03795
NUDO 3	0.00029	-0.01552	0.00027	-0.00842	0.00027	-0.00909	0.00028	-0.00972
NUDO 5	0.00021	-0.00986	0.00020	-0.00294	0.00021	-0.00359	0.00021	-0.00422
NUDO 7	0.00018	-0.01025	0.00018	-0.00342	0.00018	-0.00406	0.00018	-0.00469
NUDO 9	0.00015	-0.01108	0.00017	-0.00413	0.00017	-0.00478	0.00017	-0.00542
NUDO 10	0.00025	-0.01544	0.00022	-0.00835	0.00023	-0.00901	0.00022	-0.00965
NUDO 12	0.00039	-0.01025	0.00030	-0.00342	0.00031	-0.00406	0.00031	-0.00469

Tabla 4.10 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 2 modelo rectos

CARGA PUNTUAL 3

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00013	-0.01558	0.00010	-0.00844	0.00010	-0.00911	0.00011	-0.00975
NUDO 3	0.00008	-0.01564	0.00006	-0.00856	0.00006	-0.00923	0.00007	-0.00986
NUDO 5	0.00003	-0.01273	0.00002	-0.00584	0.00003	-0.00648	0.00003	-0.00711
NUDO 7	0.000003	-0.01016	0.00001	-0.00337	0.00001	-0.00401	0.00001	-0.00464
NUDO 9	-0.00002	-0.01037	0.000002	-0.00346	0.000001	-0.00411	-0.000001	-0.00475
NUDO 10	0.00066	-0.01542	0.00062	-0.00836	0.00062	-0.00902	0.00062	-0.00966
NUDO 12	0.00074	-0.01016	0.00065	-0.00337	0.00066	-0.00401	0.00066	-0.00464

Tabla 4.11 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 3 modelos rectos

CARGA PUNTUAL 4

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00003	-0.00877	-0.00001	-0.00172	-0.000001	-0.00238	0.000002	-0.00302
NUDO 3	-0.00003	-0.01460	-0.00004	-0.00760	-0.00004	-0.00825	-0.00004	-0.00889
NUDO 5	-0.00005	-0.02048	-0.00005	-0.01352	-0.00005	-0.01416	-0.00005	-0.01479
NUDO 7	-0.00007	-0.01094	-0.00006	-0.00413	-0.00006	-0.00476	-0.00006	-0.00540
NUDO 9	-0.00010	-0.00892	-0.00007	-0.00203	-0.00007	-0.00268	-0.00007	-0.00331
NUDO 10	0.00060	-0.01453	0.00058	-0.00753	0.00058	-0.00819	0.00058	-0.00882
NUDO 12	0.00065	-0.01092	0.00058	-0.00412	0.00059	-0.00476	0.00059	-0.00538

Tabla 4.12 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 4 modelos rectos

CARGA PUNTUAL 5

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00006	-0.00767	0.00003	-0.00071	0.00003	-0.00136	0.00003	-0.00204
NUDO 3	0.00002	-0.01273	0.000002	-0.00584	0.000004	-0.00648	0.00001	-0.00710
NUDO 5	0.00000	-0.02762	0.000000	-0.02045	0.000000	-0.02109	0.000000	-0.02066
NUDO 7	-0.00002	-0.01273	-0.000002	-0.00584	-0.000004	-0.00648	-0.00001	-0.00710
NUDO 9	-0.00006	-0.00767	-0.00003	-0.00071	-0.00003	-0.00136	-0.00003	-0.00204
NUDO 10	-0.00002	-0.01270	0.00001	-0.00581	0.000002	-0.00646	-0.000001	-0.00707
NUDO 12	0.00002	-0.01270	-0.00001	-0.00581	-0.000002	-0.00646	0.000001	-0.00707

Tabla 4.13 - Desplazamiento (m) para Carga puntual 5 modelos rectos

CARGA DISTRIBUIDA 1

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00010	-0.01119	0.00008	-0.00648	0.00008	-0.00644	0.00008	-0.00580
NUDO 3	0.00008	-0.00861	0.00007	-0.00395	0.00007	-0.00390	0.00007	-0.00327
NUDO 5	0.00006	-0.00771	0.00006	-0.00320	0.00006	-0.00318	0.00006	-0.00257
NUDO 7	0.00005	-0.00650	0.00005	-0.00210	0.00005	-0.00211	0.00005	-0.00151
NUDO 9	0.00003	-0.00636	0.00004	-0.00187	0.00004	-0.00188	0.00005	-0.00127
NUDO 10	0.00016	-0.00860	0.00013	-0.00395	0.00012	-0.00390	0.00011	-0.00326
NUDO 12	0.00022	-0.00650	0.00015	-0.00209	0.00014	-0.00211	0.00013	-0.00151

Tabla 4.14 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 1 modelos rectos

CARGA DISTRIBUIDA 2

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00004	-0.00679	0.00002	-0.00224	0.00002	-0.00222	0.00001	-0.00160
NUDO 3	0.00002	-0.00752	0.00002	-0.00302	0.00001	-0.00300	0.00001	-0.00239
NUDO 5	0.00000	-0.00850	0.00000	-0.00401	0.00000	-0.00400	0.00000	-0.00338
NUDO 7	-0.00002	-0.00752	-0.00001	-0.00302	-0.00001	-0.00300	-0.00001	-0.00239
NUDO 9	-0.00004	-0.00679	-0.00002	-0.00224	-0.00002	-0.00222	-0.00001	-0.00160
NUDO 10	-0.00003	-0.00751	-0.00001	-0.00302	-0.00001	-0.00300	-0.00001	-0.00239
NUDO 12	0.00003	-0.00751	0.00001	-0.00302	0.00001	-0.00300	0.00001	-0.00239

Tabla 4.15 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 2 modelos rectos

CARGA DISTRIBUIDA 3

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00004	-0.01076	0.00002	-0.00612	0.00002	-0.00609	0.00002	-0.00547
NUDO 3	0.00002	-0.00759	0.00001	-0.00303	0.00001	-0.00301	0.00001	-0.00239
NUDO 5	0.00000	-0.00692	0.00000	-0.00239	0.00000	-0.00237	0.00000	-0.00175
NUDO 7	-0.00002	-0.00759	-0.00001	-0.00303	-0.00001	-0.00301	-0.00001	-0.00239
NUDO 9	-0.00004	-0.01076	-0.00002	-0.00612	-0.00002	-0.00609	-0.00002	-0.00547
NUDO 10	-0.00003	-0.00758	-0.00002	-0.00303	-0.00002	-0.00300	-0.00001	-0.00238
NUDO 12	0.00003	-0.00758	0.00002	-0.00303	0.00002	-0.00300	0.00001	-0.00238

Tabla 4.16 - Desplazamiento (m) para Carga distribuida 3 modelos rectos

CARGA PUNTUAL 1

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00086	-0.09624	0.00081	-0.08913	0.00081	-0.08980	0.00081	-0.09044
NUDO 3	0.00083	-0.01471	0.00080	-0.00773	0.00080	-0.00838	0.00080	-0.00902
NUDO 5	0.00070	-0.00748	0.00068	-0.00055	0.00068	-0.00121	0.00068	-0.00184
NUDO 7	0.00064	-0.01103	0.00063	-0.00409	0.00063	-0.00474	0.00063	-0.00538
NUDO 9	0.00060	-0.01154	0.00061	-0.00453	0.00061	-0.00520	0.00060	-0.00584
NUDO 10	-0.00076	-0.01381	-0.00074	-0.00686	-0.00074	-0.00751	-0.00074	-0.00815
NUDO 12	-0.00065	-0.01166	-0.00067	-0.00474	-0.00066	-0.00539	-0.00066	-0.00602

Tabla 4.17 - Desplazamiento (m) para carga puntual 1 modelos inclinados

CARGA PUNTUAL 2

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00064	-0.04371	0.00059	-0.03668	0.00060	-0.03734	0.00060	-0.03798
NUDO 3	0.00062	-0.01451	0.00059	-0.00759	0.00059	-0.00824	0.00059	-0.00887
NUDO 5	0.00050	-0.00968	0.00048	-0.00281	0.00049	-0.00346	0.00049	-0.00409
NUDO 7	0.00045	-0.01103	0.00045	-0.00414	0.00045	-0.00479	0.00045	-0.00542
NUDO 9	0.00041	-0.01132	0.00042	-0.00436	0.00042	-0.00502	0.00042	-0.00566
NUDO 10	-0.00031	-0.01393	-0.00029	-0.00703	-0.00029	-0.00768	-0.00029	-0.00831
NUDO 12	-0.00022	-0.01135	-0.00023	-0.00448	-0.00023	-0.00513	-0.00023	-0.00576

Tabla 4.18 - Desplazamiento (m) para carga puntual 2 modelos inclinados

CARGA PUNTUAL 3

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00041	-0.01471	0.00037	-0.00773	0.00037	-0.00838	0.00038	-0.00902
NUDO 3	0.00040	-0.01452	0.00038	-0.00764	0.00038	-0.00828	0.00038	-0.00891
NUDO 5	0.00029	-0.01257	0.00028	-0.00573	0.00028	-0.00638	0.00028	-0.00700
NUDO 7	0.00025	-0.01104	0.00025	-0.00419	0.00025	-0.00484	0.00025	-0.00546
NUDO 9	0.00022	-0.01103	0.00023	-0.00409	0.00023	-0.00474	0.00023	-0.00538
NUDO 10	0.00018	-0.01414	0.00020	-0.00728	0.00020	-0.00793	0.00019	-0.00856
NUDO 12	0.00025	-0.01104	0.00008	-0.00254	0.00023	-0.00485	0.00023	-0.00548

Tabla 4.19 - Desplazamiento (m) para carga puntual 3 modelos inclinados

CARGA PUNTUAL 4

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00021	-0.00789	0.00017	-0.00094	0.00018	-0.00160	0.00018	-0.00223
NUDO 3	0.00017	-0.01369	0.00015	-0.00684	0.00015	-0.00749	0.00015	-0.00811
NUDO 5	0.00012	-0.02032	0.00011	-0.01350	0.00011	-0.01415	0.00011	-0.01477
NUDO 7	0.00009	-0.01153	0.00009	-0.00469	0.00009	-0.00534	0.00009	-0.00596
NUDO 9	0.00005	-0.00947	0.00008	-0.00254	0.00007	-0.00320	0.00007	-0.00383
NUDO 10	0.00031	-0.01369	0.00020	-0.00728	0.00032	-0.00750	0.00032	-0.00813
NUDO 12	0.00036	-0.01138	0.00023	-0.00420	0.00034	-0.00521	0.00034	-0.00583

Tabla 4.20 - Desplazamiento (m) para carga puntual 4 modelos inclinados

CARGA PUNTUAL 5

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00007	-0.00748	0.00004	-0.00055	0.00005	-0.00121	0.00005	-0.00184
NUDO 3	0.00004	-0.01257	0.00002	-0.00573	0.00002	-0.00638	0.00002	-0.00700
NUDO 5	0.00000	-0.02746	0.00000	-0.02066	0.00000	-0.02130	0.00000	-0.02192
NUDO 7	-0.00004	-0.01257	-0.00002	-0.00573	-0.00002	-0.00638	-0.00002	-0.00700
NUDO 9	-0.00007	-0.00748	-0.00004	-0.00055	-0.00005	-0.00121	-0.00005	-0.00184
NUDO 10	-0.00002	-0.01251	0.00032	-0.00686	-0.00001	-0.00634	-0.00001	-0.00696
NUDO 12	0.00002	-0.01251	0.00034	-0.00456	0.00001	-0.00634	0.00001	-0.00696

Tabla 4.21 - Desplazamiento (m) para carga puntual 5 modelos inclinados

CARGA DISTRIBUIDA 1

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00022	-0.01089	-0.00014	-0.00197	-0.00014	-0.00196	-0.00014	-0.00135
NUDO 3	0.00020	-0.00808	-0.00015	-0.00237	-0.00015	-0.00236	-0.00015	-0.00175
NUDO 5	0.00017	-0.00762	-0.00016	-0.00315	-0.00016	-0.00313	-0.00016	-0.00252
NUDO 7	0.00015	-0.00684	-0.00017	-0.00357	-0.00017	-0.00355	-0.00017	-0.00294
NUDO 9	0.00014	-0.00649	-0.00018	-0.00631	-0.00018	-0.00629	-0.00018	-0.00566
NUDO 10	-0.00007	-0.00794	0.00005	-0.00247	0.00005	-0.00246	0.00005	-0.00185
NUDO 12	-0.00003	-0.00693	0.00007	-0.00345	0.00007	-0.00343	0.00006	-0.00282

Tabla 4.22 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 1 modelos inclinados

CARGA DISTRIBUIDA 2

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00004	-0.00669	0.00002	-0.00217	0.00002	-0.00216	0.00002	-0.00155
NUDO 3	0.00002	-0.00743	0.00001	-0.00296	0.00001	-0.00295	0.00001	-0.00234
NUDO 5	0.00000	-0.00841	0.00000	-0.00397	0.00000	-0.00395	0.00000	-0.00335
NUDO 7	-0.00002	-0.00743	-0.00001	-0.00296	-0.00001	-0.00295	-0.00001	-0.00234
NUDO 9	-0.00004	-0.00669	-0.00002	-0.00217	-0.00002	-0.00216	-0.00002	-0.00155
NUDO 10	-0.00002	-0.00740	-0.00001	-0.00295	-0.00001	-0.00294	-0.00001	-0.00233
NUDO 12	0.00002	-0.00740	0.00001	-0.00295	0.00001	-0.00294	0.00001	-0.00233

Tabla 4.23 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 2 modelos inclinados

CARGA DISTRIBUIDA 3

NODOS	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4	
	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ	DY	DZ
NUDO 1	0.00004	-0.01069	0.00002	-0.00610	0.00002	-0.00608	0.00002	-0.00546
NUDO 3	0.00003	-0.00750	0.00002	-0.00298	0.00002	-0.00296	0.00001	-0.00235
NUDO 5	0.00000	-0.00683	0.00000	-0.00233	0.00000	-0.00231	0.00000	-0.00170
NUDO 7	-0.00003	-0.00750	-0.00002	-0.00298	-0.00002	-0.00296	-0.00001	-0.00235
NUDO 9	-0.00004	-0.01069	-0.00002	-0.00610	-0.00002	-0.00608	-0.00002	-0.00546
NUDO 10	-0.00002	-0.00747	-0.00001	-0.00296	-0.00001	-0.00294	-0.00001	-0.00233
NUDO 12	0.00002	-0.00747	0.00001	-0.00296	0.00001	-0.00294	0.00001	-0.00233

Tabla 4.24 - Desplazamiento (m) para carga distribuida 3 modelos inclinados

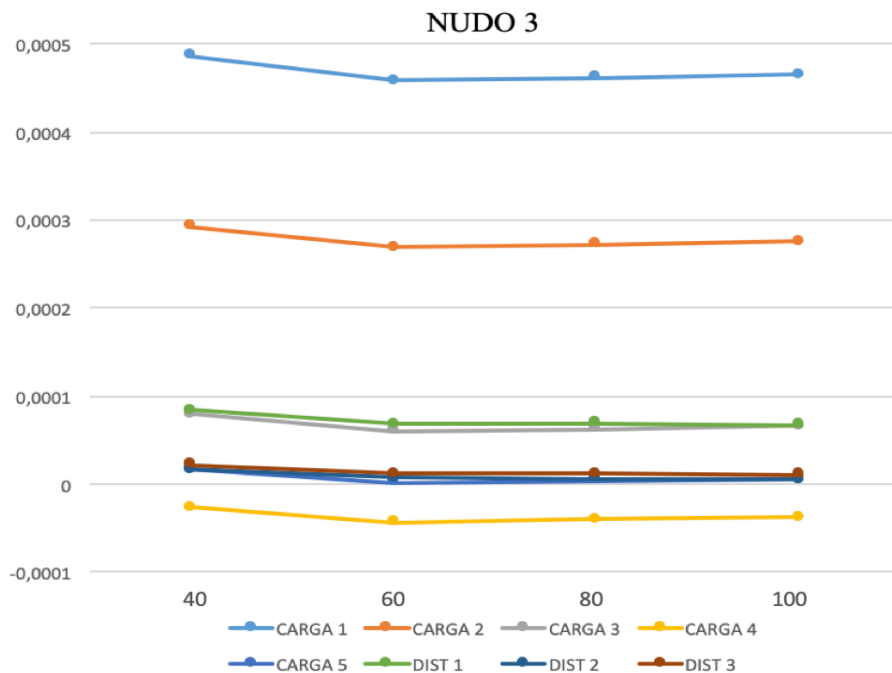


Figura 4.85 - DY (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 3 modelos rectos

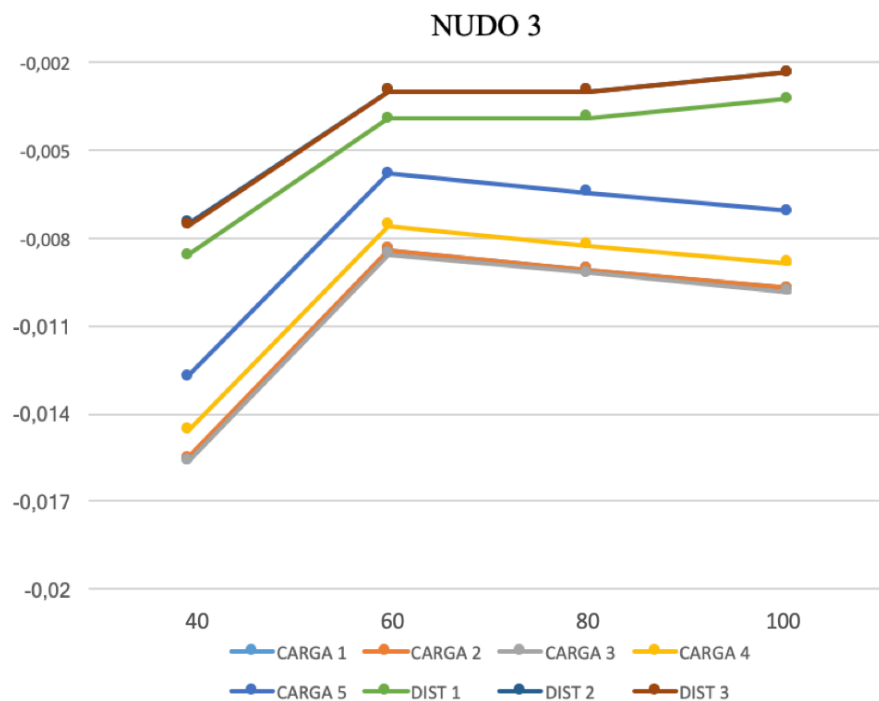


Figura 4.86 - DZ (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 3 modelos rectos

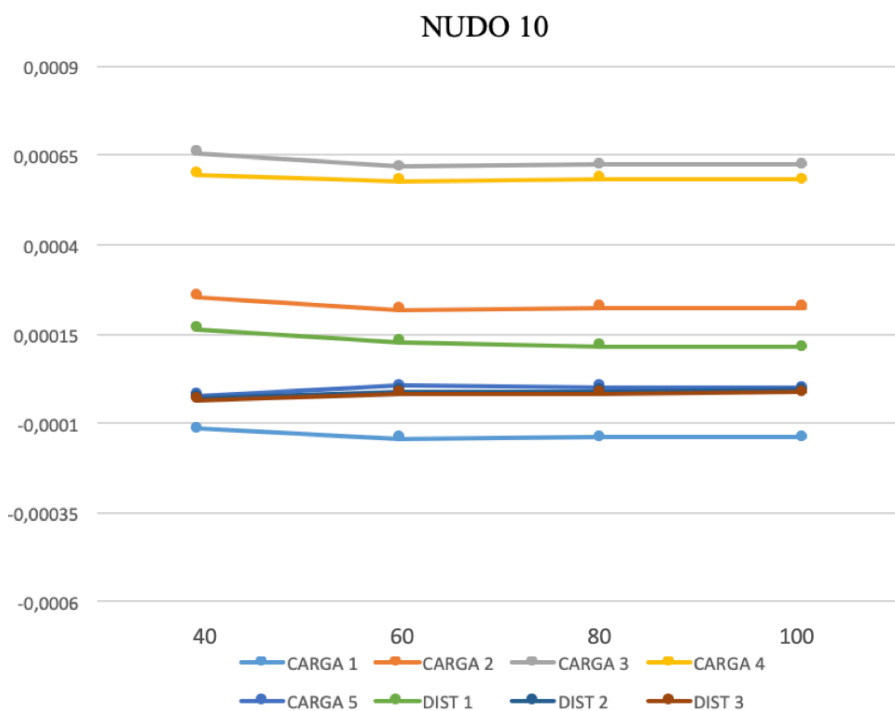


Figura 4.87 - DY (m) en función de la longitud del Puente en el nodo 10 modelos rectos

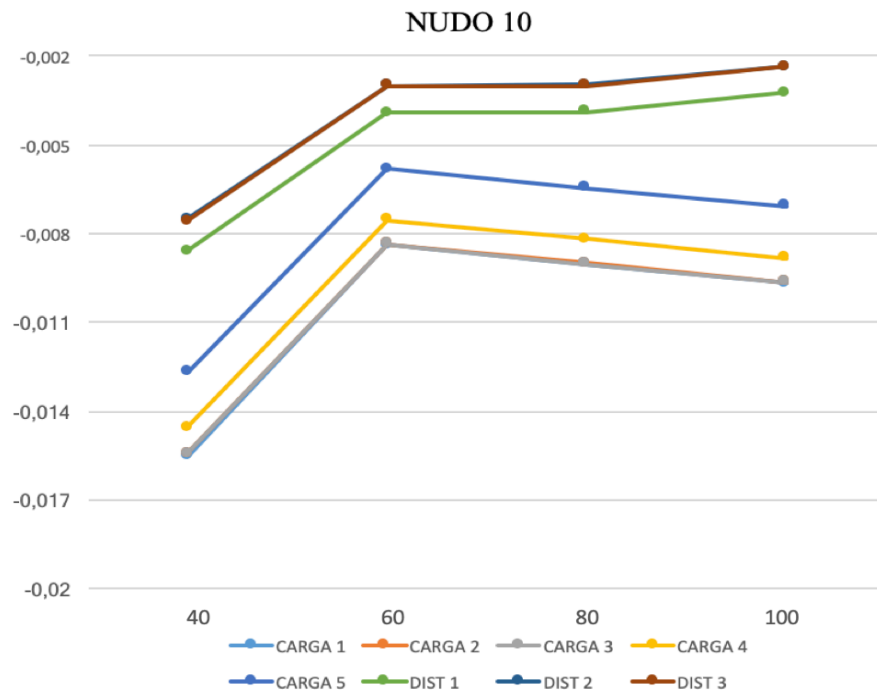


Figura 4.88 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos rectos

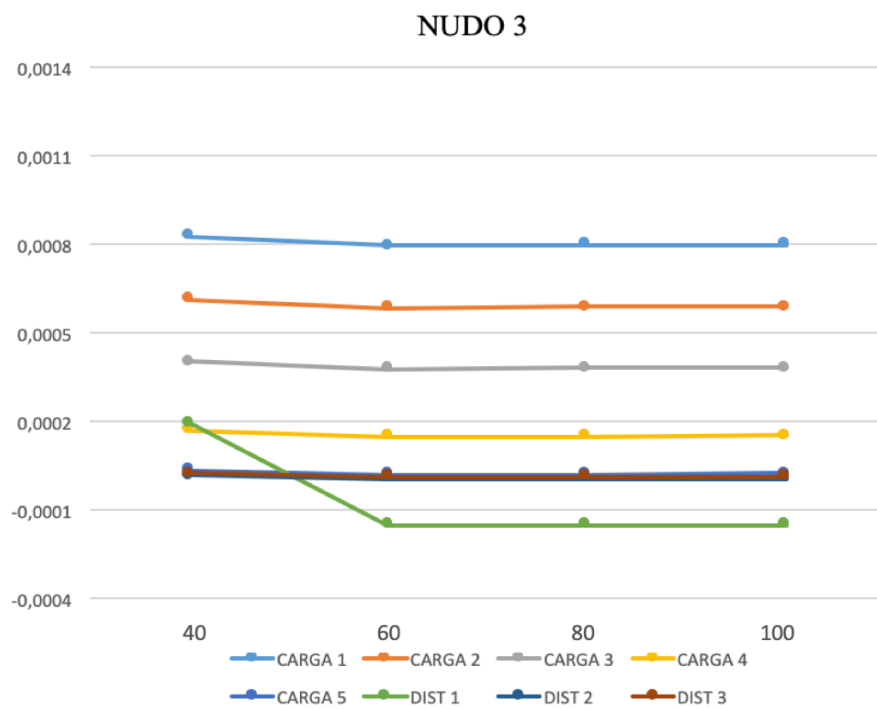


Figura 4.89 - DY (m) en función de la longitud del puente en el nodo 3 modelos inclinados

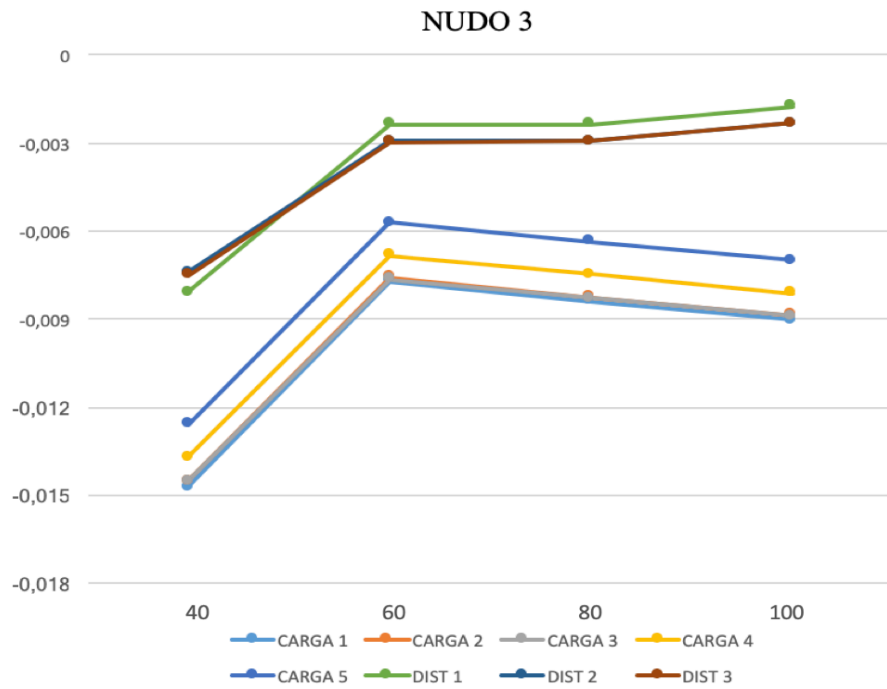


Figura 4.90 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 3 modelos inclinados

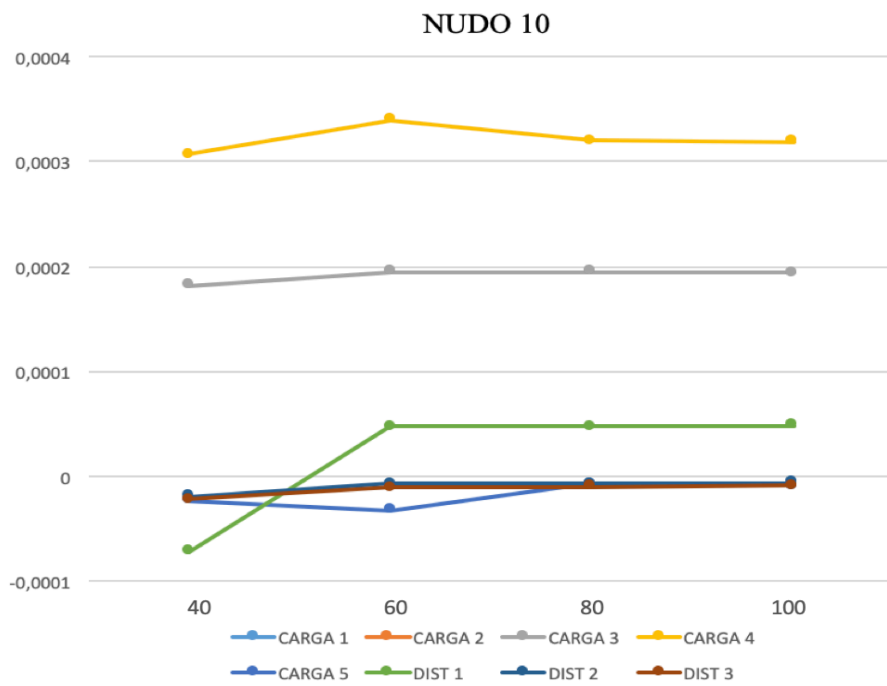


Figura 4.91 - DY (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos inclinados

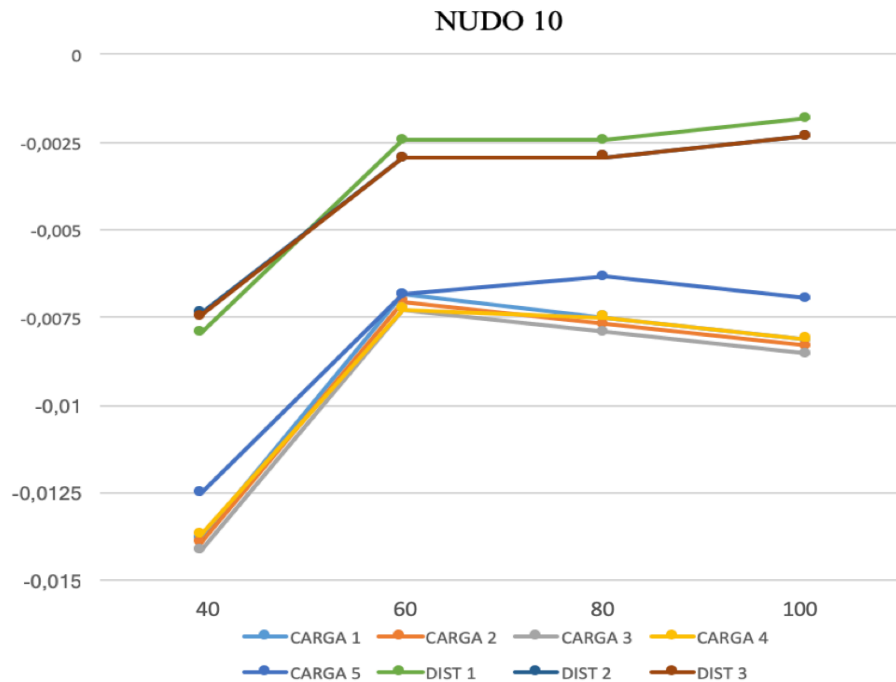


Figura 4.92 - DZ (m) en función de la longitud del puente en el nodo 10 modelos inclinados

Las cargas distribuidas presentan desplazamientos, tanto verticales como transversales, mucho menores que los obtenidos por las cargas puntuales.

Las mayores flechas se producen en los modelos sin vanos laterales y son menores cuando los vanos laterales son más cortos, sin embargo, con las cargas distribuidas la aplicación de cargas en los vanos laterales provoca que se levante el vano central y en consecuencia disminuya la flecha.

La variación de los desplazamientos verticales no lo podemos atribuir a la inclinación de las almas, sino a la influencia de la longitud del puente, ya que los resultados de las secciones con almas rectas e inclinadas son similares, siendo el cambio de longitud de vanos un parámetro determinante.

Los desplazamientos máximos de menor valor los encontramos en los modelos de 60m de longitud de ambas secciones, salvo para carga distribuida.

Para los desplazamientos transversales es más determinante la excentricidad de la carga que la longitud del vano.

El hecho de que las cargas distribuidas 2 y 3 sean simétricas producen unos desplazamientos menores, que la carga distribuida 1.

Los desplazamientos transversales son inversamente proporcionales de la inercia a torsión de la sección, siendo mayores en aquellas secciones que presenten menores inercias torsionales. Además, existe una relación inversamente proporcional entre la inclinación de las almas y la excentricidad de las cargas que consiga optimizar el mínimo valor del desplazamiento transversal.

4.6.2 Distorsión

Abordábamos antes la idea de que la longitud del vano no resultaba un parámetro determinante en el valor máximo de la distorsión de los diferentes modelos. La distorsión máxima que presentan los modelos con almas inclinadas en su sección es menor que la distorsión de las secciones con almas rectas.

En el Capítulo 3, llegamos a la conclusión de que la mejor combinación de inclinación de las almas y longitud del puente según el valor máximo y la distribución a lo largo de la luz era el modelo de 100m de longitud que presentaba almas rectas en su sección.

Debido a que la distorsión máxima, independientemente del tipo de carga, se produce en la sección central analizaremos las cargas puntuales de todos los modelos.

Distorsión en la sección central				
Cargas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Carga 1	0.001087	0.001249	0.001251	0.001071
Carga 2	0.000933	0.001018	0.001021	0.000812
Carga 3	0.001223	0.001038	0.001043	0.000830
Carga 4	0.000940	0.000713	0.000717	0.000571
Carga 5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Tabla 4.25 - Distorsión en la sección central para modelos con almas rectas (rad)

Distorsión en la sección central				
Cargas	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Carga 1	0.001485	0.001204	0.001204	0.001204
Carga 2	0.001184	0.000956	0.000957	0.000957
Carga 3	0.000914	0.000719	0.000719	0.000719
Carga 4	0.000505	0.000450	0.000448	0.000447
Carga 5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Tabla 4.26 - Distorsión en la sección central para modelos con almas inclinadas (rad)

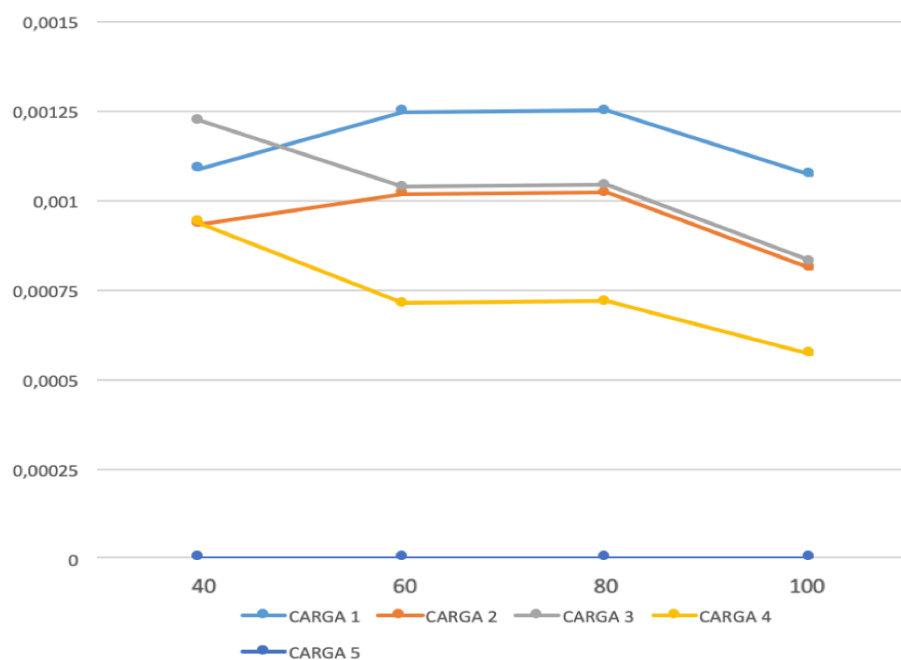


Figura 4.93 - Distorsión en la sección central para las diferentes cargas en los modelos con almas rectas

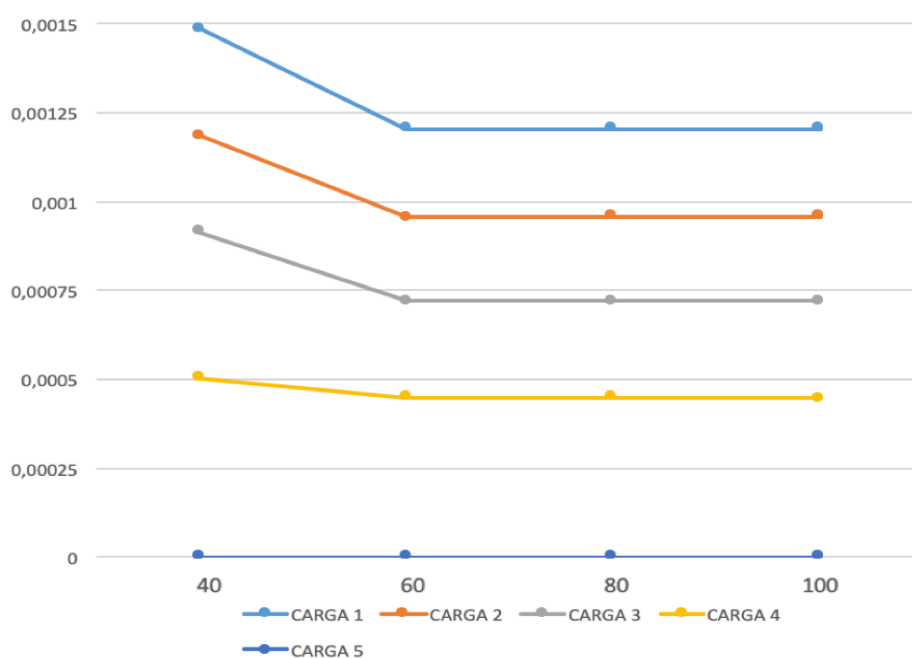


Figura 4.94 - Distorsión en la sección central para las diferentes cargas en los modelos con almas inclinadas

La distorsión, además de otros factores, depende de la excentricidad de la carga. A mayor excentricidad de la carga, las secciones que tienen mejor comportamiento respecto a la distorsión son aquellas con almas rectas.

4.6.3 Tensiones

Se analizan las tensiones en las zonas más convenientes de los modelos para todas las cargas puntuales y distribuidas.

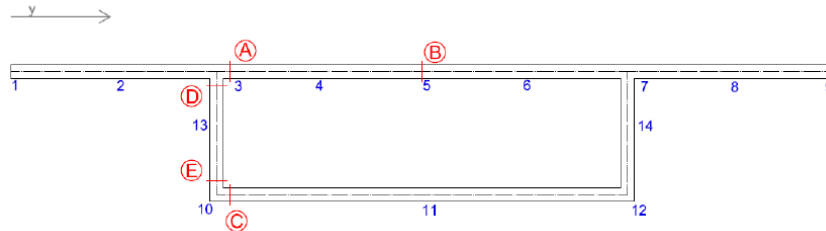


Figura 4.95 - Secciones tensionales más importantes

Tensiones longitudinales

Las tensiones longitudinales más desfavorables aparecen en la sección central. En la Tabla 4.27, se muestran los valores de las tensiones para los diferentes tipos de cargas y modelos.

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	4870	2173	-10200	-2108	-1453	-367	-810	-254
Modelo 2	5880	2975	-9505	-1539	-1117	-264	-533	-171
Modelo 3	5800	2894	-9586	-1620	-1200	-265	-530	-168
Modelo 4	5715	2812	-9667	-1702	-1292	-187	-451	88

Tabla 4.27 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos rectos

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-204	-866	-2260	-10700	-55300	-1119	-1360	-1020
Modelo 2	737	76	-1591	-9763	-51674	-580	-755	-403
Modelo 3	648	-11,2	-1412	-9850	-51761	-577	-754	-402
Modelo 4	562	-97,3	-1498	-9935	-12678	-494	-670	-317

Tabla 4.28 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos rectos

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	4830	5200	5820	5100	3690	1860	1690	1700
Modelo 2	1785	2458	3757	3799	2668	774	818	749
Modelo 3	1909	2580	3876	3920	2796	790	815	745
Modelo 4	2038	2707	4002	4046	2885	679	692	621

Tabla 4.29 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos rectos

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-177	-1250	-8944	405	67.9	-947	-891	-1028
Modelo 2	711	-368	-8066	1282	945	-393	-319	-450
Modelo 3	628.4	-450	-8148	1200	862.7	-390	-318	-448
Modelo 4	547	-531	-8228	1120	782.4	-312	-240	-370

Tabla 4.30 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos inclinados

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-202	-879	-2293	-10678	-55300	-1178	-1353	-1004
Modelo 2	745	61,6	-1358	-9747	-54369	-531	-747	-390
Modelo 3	657	-26,5	-1446	-9834	-54456	-566	-745	-387
Modelo 4	570	-112	-1531	-9919	-54541	-483	-662	-304

Tabla 4.31 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos inclinados

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	4214	4475	4801	4200	3172	1698	1613	1675
Modelo 2	2826	3104	3443	2846	1814	688	730	780
Modelo 3	2956	3233	3571	2974	1942	681	727	776
Modelo 4	3082	3358	3696	3098	2066	560	607	655

Tabla 4.32 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos inclinados

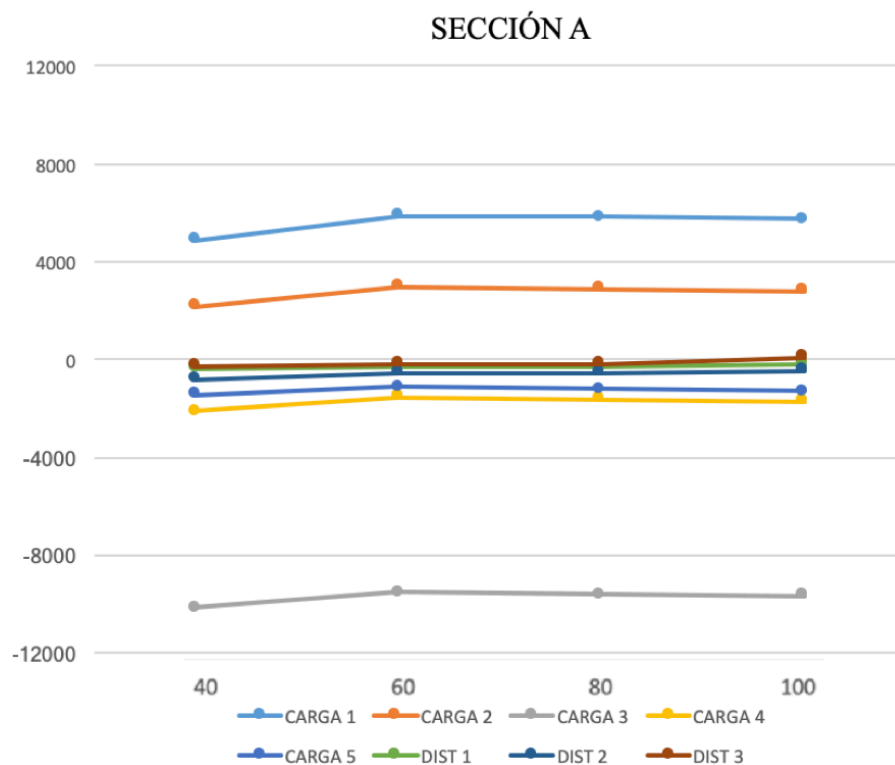


Figura 4.96 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos rectos

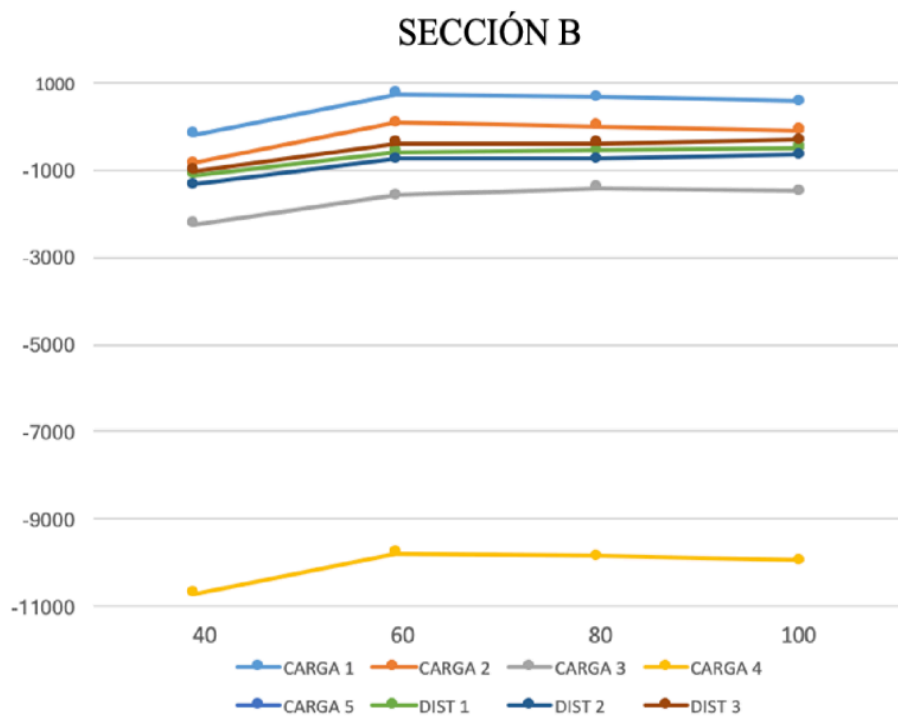


Figura 4.97 - Distribución de σ_{xx} (kN/m^2) en la sección B modelos rectos

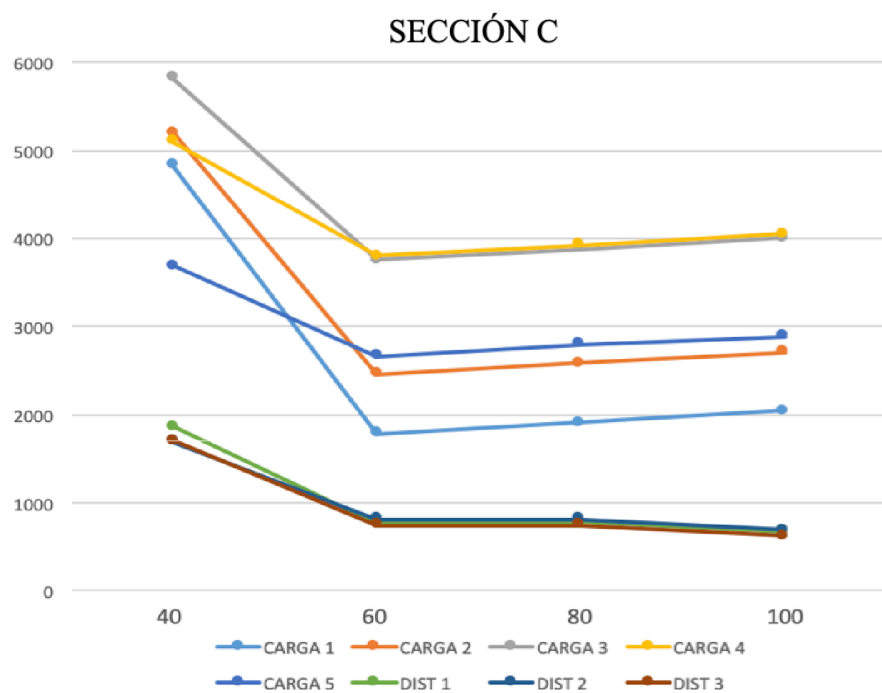


Figura 4.98 - Distribución de σ_{xx} (kN/m^2) en la sección C modelos rectos

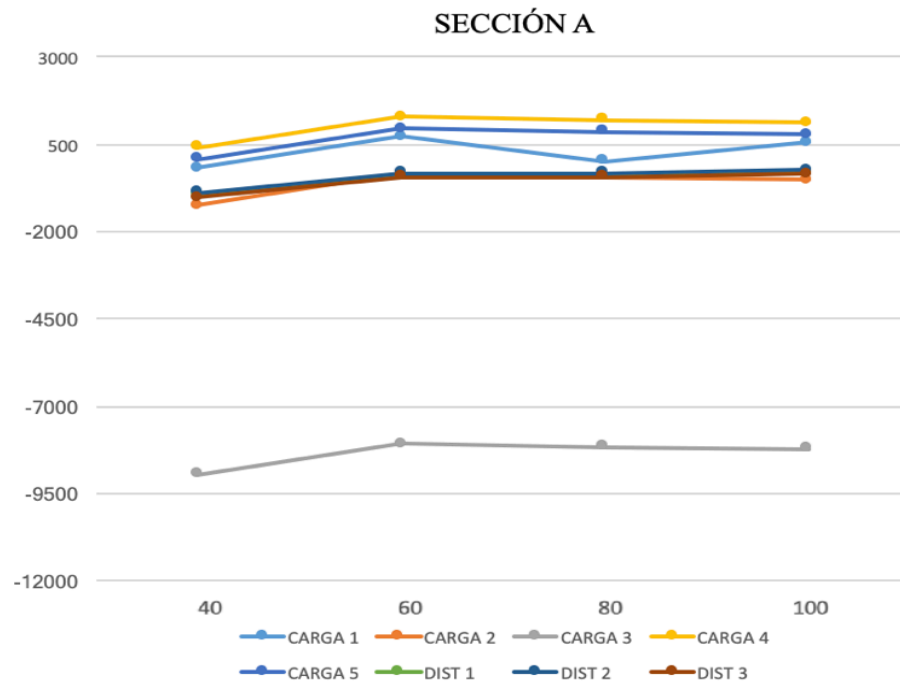


Figura 4.99 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección A modelos inclinados

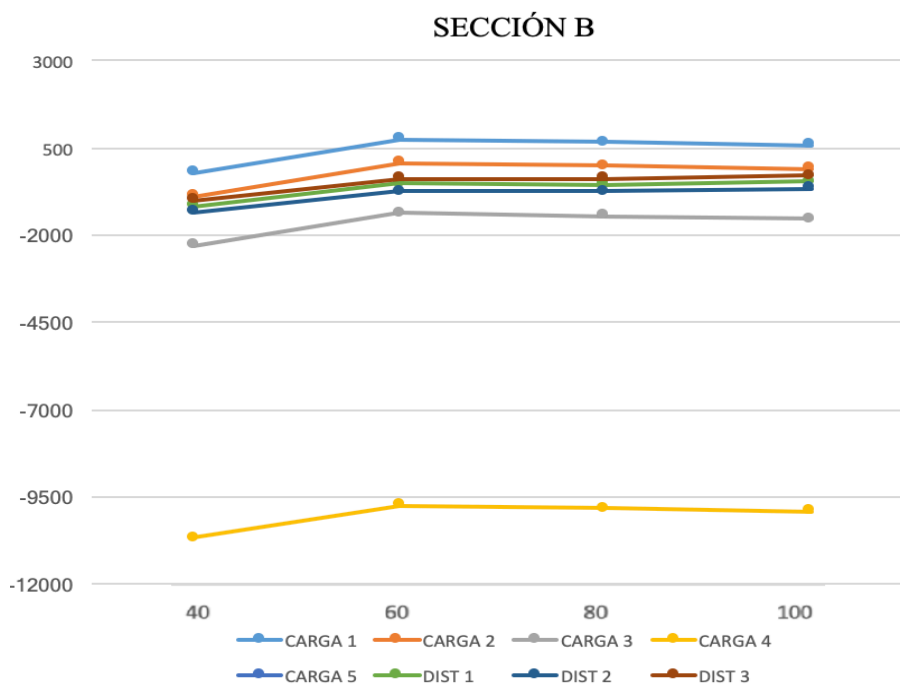


Figura 4.100 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección B modelos inclinados

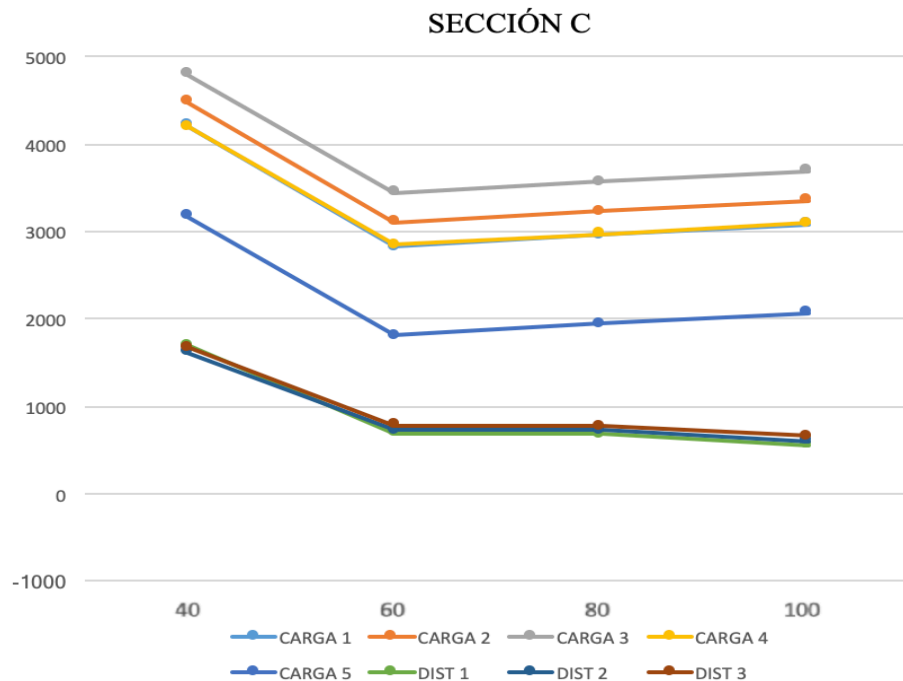


Figura 4.101 - Distribución de σ_{xx} (kN/m²) en la sección C modelos inclinados

Las cargas puntuales aplicadas en la zona de estudio presentan tensiones muy altas, debido a la perturbación que provoca la carga puntual. En el caso de cargas distribuidas, este fenómeno no aparece. Por tanto, cuando más alejado de la sección en estudio se encuentre la carga puntual aplicada, menor será su influencia y, por tanto, su valor.

La inclinación de las almas da lugar a valores más bajos de tensiones longitudinales. La mayor longitud del alma inclinada mejora la distribución de las tensiones que provoca la carga puntual. Es más evidente en la losa inferior, debido a que las cargas puntuales producen una distribución de tensiones longitudinales y tangenciales debido a la perturbación que se produce. Sin embargo, en las cargas distribuidas este fenómeno no se produce.

La variación de longitud existente entre los diferentes modelos es también influyente en las tensiones longitudinales, es posible observar en la representación gráfica de las tensiones como los modelos que presentan apoyos en la zona intermedia del puente presenta valores más suaves de tensiones.

Tensiones tangenciales

El análisis de las tensiones tangenciales se realizará en las secciones más próximas a la zona de la aplicación de las diferentes cargas puntuales (Por ejemplo, $x = 19.5$ m para el modelo 1). Para las cargas distribuidas, la sección más desfavorable se encuentra en el extremo del modelo, $x = 0$ m.

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-1550	-2030	-608	1480	585	-513	44.6	-518
Modelo 2	-756	-998	-205	426	235	-11.2	-12	-11.2
Modelo 3	-1007	-1165	-145	507	279	-16	-19	-18
Modelo 4	-1279	-1306	-120	528	290	-20.3	-19	-18.3

Tabla 4.33 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos rectos

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	273	223	-163	-325	-177	-39,1	-130	-54.3
Modelo 2	-50	-37	-221	-374	-180	-3	-12	-12
Modelo 3	-76	-85	-347	-403	-243	-4.5	-18	-18
Modelo 4	-108	-103	-506	-468	-295	-5.6	-18.3	-18.3

Tabla 4.34 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos rectos

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-1600	-2120	-1070	1420	573	-573	40.9	-525
Modelo 2	-896	-1108	-613	363	179	-4	-10.3	-10.4
Modelo 3	-1134	-1293	-499	416	221	-5.5	-17	-17.4
Modelo 4	-1355	-1445	-447	445	257	-6.8	-17.1	-17.3

Tabla 4.35 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos inclinados

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	111	53	-245	-299	-157	-245	-192	-52.5
Modelo 2	-62	-115	-367	-335	-180	-2.5	-9.3	-9.2
Modelo 3	-79	-145	-434	-417	-232	-3.4	-15	-15.2
Modelo 4	-103	-183	-498	-490	-280	-4.2	-15.5	-15.4

Tabla 4.36 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos inclinados

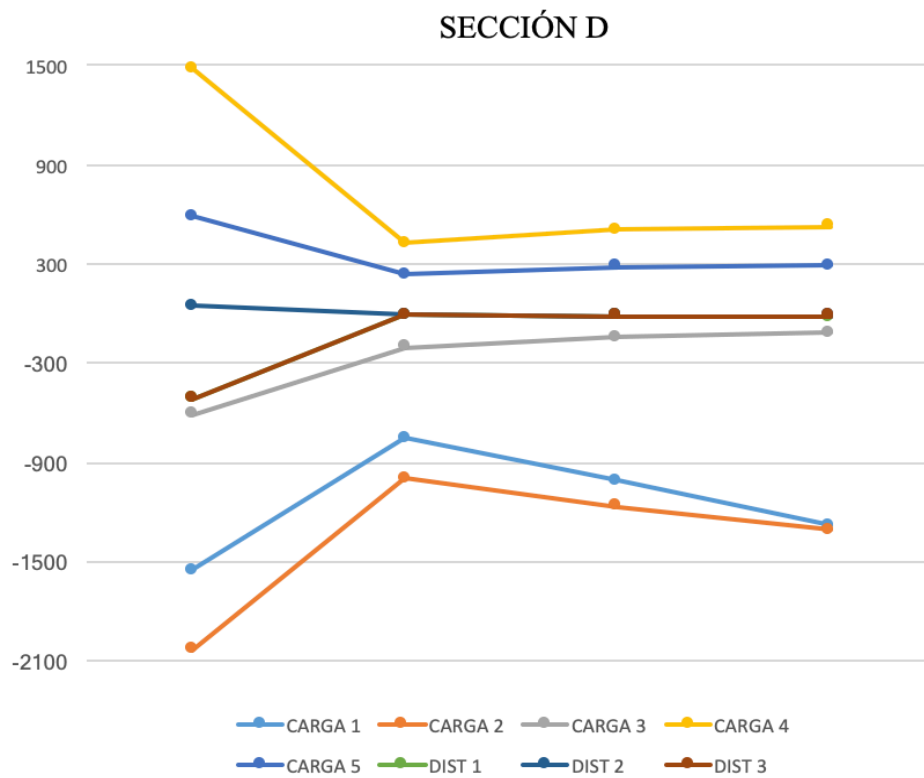


Figura 4.102 - Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección D modelos rectos

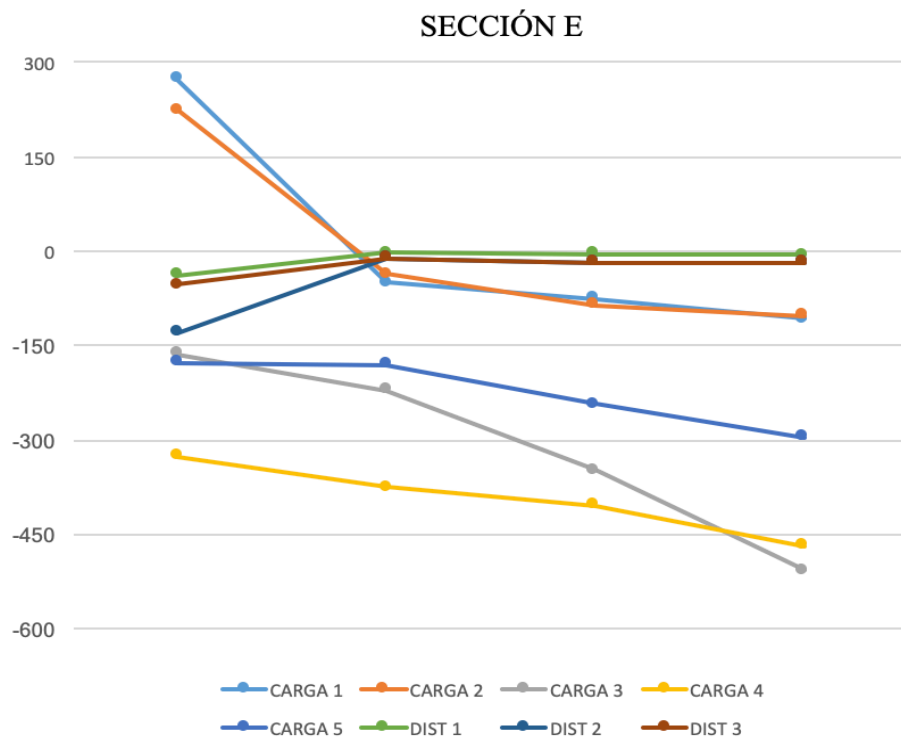


Figura 4.103- Distribución τ_{xy} (kN/m²) en la sección E modelos rectos

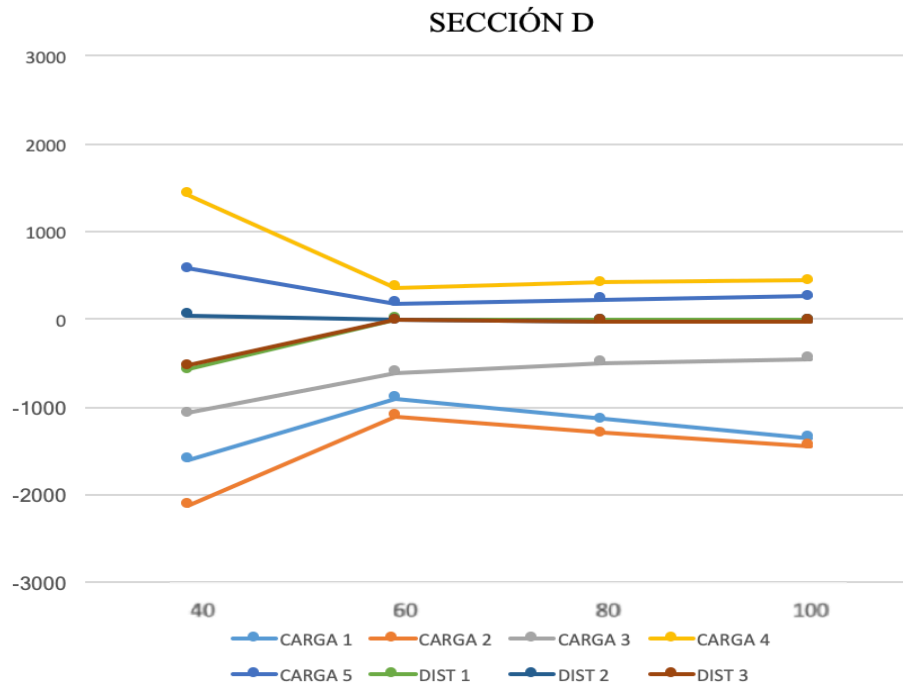


Figura 4.104 - Distribución τ_{xy} (kN/m^2) en la sección D modelos inclinados

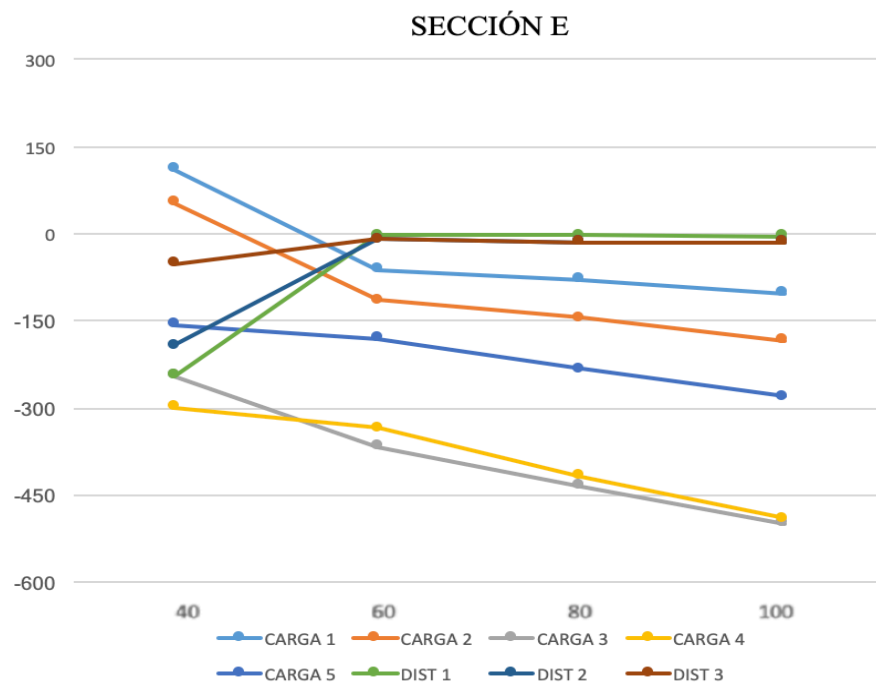


Figura 4.105 - Distribución τ_{xy} (kN/m^2) en la sección E modelos inclinados

4.6.4 Esfuerzos

Momentos flectores transversales (My)

Los momentos flectores de mayor relevancia se encuentran en la losa superior e inferior, también se analizará la influencia sobre las almas. En las siguientes tablas se muestran los valores para las diferentes cargas y valores.

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-22.8	-15	17.2	26.1	-2.8	1	0.1	0.3
Modelo 2	-23.7	-16.9	18.4	24.6	-2.9	0.8	-0.4	-0.1
Modelo 3	-23.6	-15.8	18.5	24.7	-2.8	0.3	-0.4	-0.1
Modelo 4	-23.5	-15.8	18.5	24.8	-2.8	0.2	-0.4	-0.2

Tabla 4.37 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección A modelos rectos

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-11.2	-8.5	2.8	58.9	356.5	1.5	2.6	0.3
Modelo 2	-11.9	-7.4	2	58.4	337.9	1	2.1	-0.2
Modelo 3	-11.8	-7.4	2.1	58.5	337.9	1	2.1	-0.2
Modelo 4	-11.7	-7.3	2.2	58.6	338	0.9	2.1	-0.2

Tabla 4.38 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección B modelos rectos

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	14.2	12.8	8	2.2	-0.2	2.4	0.8	1.2
Modelo 2	13.3	11.5	7.2	1.4	-1	1.8	0.3	0.8
Modelo 3	13.4	11.6	7.3	1.4	-0.9	1.7	0.3	0.3
Modelo 4	13.5	11.7	7.3	1.5	-0.9	1.7	-0.4	-0.3

Tabla 4.39 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección C modelos rectos

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	45.6	33.3	1.9	-22.1	16.2	1.7	-1.4	2.2
Modelo 2	45.1	32.6	1.8	-21.7	16	1.6	-1.4	2.2
Modelo 3	45.1	32.7	1.8	-21.7	16	1.5	-1.4	2.2
Modelo 4	45.1	32.7	1.8	-21.7	16	1.5	-1.4	2.2

Tabla 4.40 - Distribución de My (kN.m/m) en la sección D modelos rectos

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	8.6	5.2	-2.8	-7.5	-4.2	-0.5	-0.4	0.5
Modelo 2	8.6	5.2	-2.7	-7.5	-4.2	-0.5	-0.3	0.5
Modelo 3	8.6	5.2	-2.7	-7.5	-4.2	-0.4	-0.4	0.5
Modelo 4	8.6	5.2	-2.7	-7.5	-4.2	-0.4	-0.5	0.5

Tabla 4.41 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos rectos

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-25.5	-17	15.7	24.5	-2.3	0.08	0.1	0.3
Modelo 2	-26.5	-17.9	16	25.3	-3.5	0.1	0.4	0.2
Modelo 3	-26.9	-17.8	16.1	25.4	-2.5	0.1	0.4	0.2
Modelo 4	-26.9	-17.6	16.2	25.4	-2.5	0.2	0.5	0.2

Tabla 4.42 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección A modelos inclinados

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-11.3	-6.7	2.7	58.9	356	1.5	2.6	0.3
Modelo 2	-15.7	-7.5	2	58.8	355.7	1	2.1	-0.2
Modelo 3	-12	-7.6	2.1	58.9	355.8	1	2.1	-0.2
Modelo 4	-12	-7.8	2.2	87	355.9	0.9	2	0.2

Tabla 4.43 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección B modelos inclinados

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	25.8	22.8	16.4	6.7	2	4.3	2.7	4
Modelo 2	23.6	20.2	13.8	4	-0.5	0.8	1.1	2.4
Modelo 3	23.6	20.5	14.2	4.5	-0.3	0.8	1.1	2.4
Modelo 4	23.7	20.7	14.5	4.7	-0.1	0.5	0.8	2.2

Tabla 4.44 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección C modelos inclinados

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	40	27.6	-5.6	-24.4	-16.8	0.5	-1.8	1.6
Modelo 2	40.6	27.9	-5.8	-24.1	-16.5	0.5	-1.6	1.8
Modelo 3	40.6	28.9	-5.8	-24.2	-16.6	0.5	-1.6	1.8
Modelo 4	40.5	28	-5.8	-24.2	-16.6	0.5	-1.5	1.8

Tabla 4.45 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección D modelos inclinados

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	1.9	-0.3	-5.7	-7.2	-3	-1	-0.5	-0.3
Modelo 2	2.3	-0.2	-5.4	-7	-2.7	-0.4	-0.3	-0.1
Modelo 3	2.3	-0.1	-5.4	-7	-2.7	-0.4	-0.3	-0.1
Modelo 4	2.3	-0.4	-5.5	-7	-2.7	-0.4	-0.3	-0.1

Tabla 4.46 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos inclinados

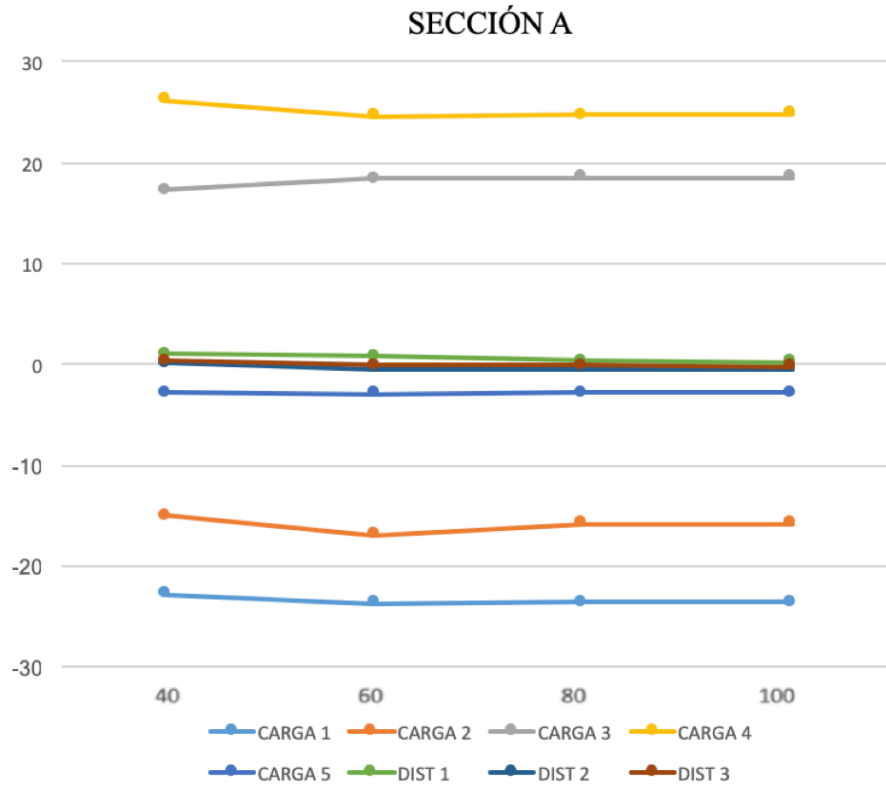


Figura 4.106 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección A modelos rectos

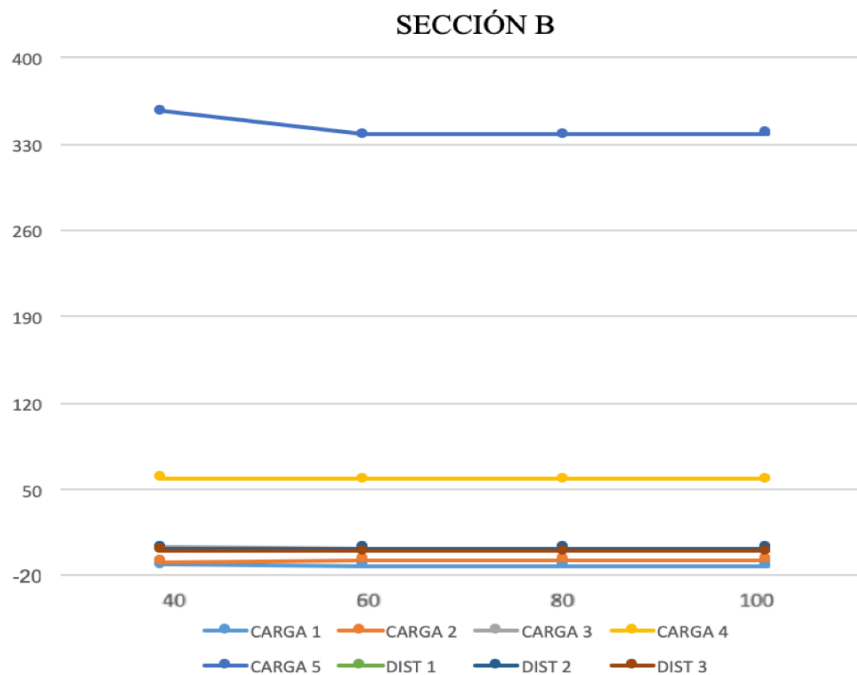


Figura 4.107 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección B modelos rectos

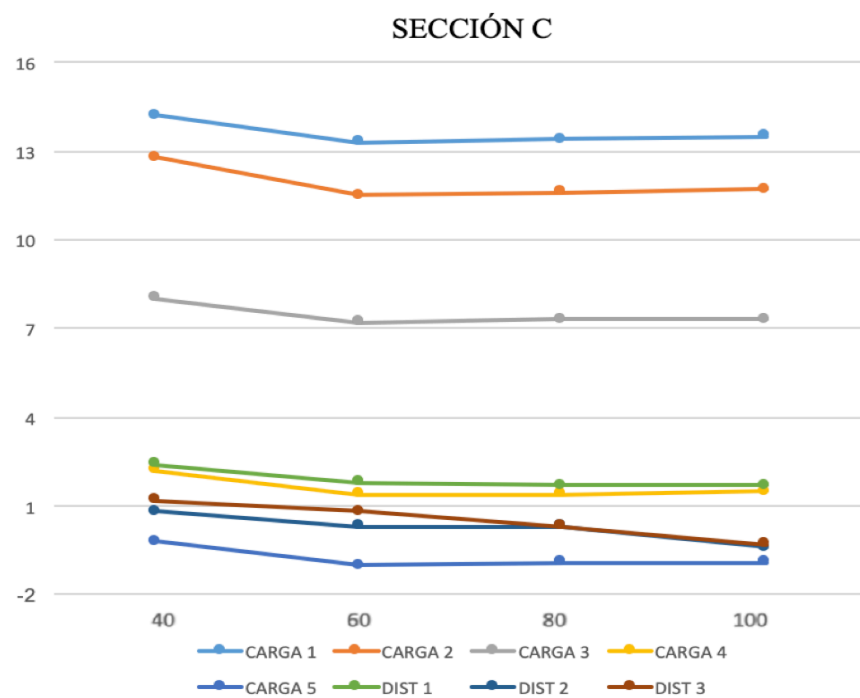


Figura 4.108 - Distribución de M_y (kN. m/m) en la sección C modelos rectos

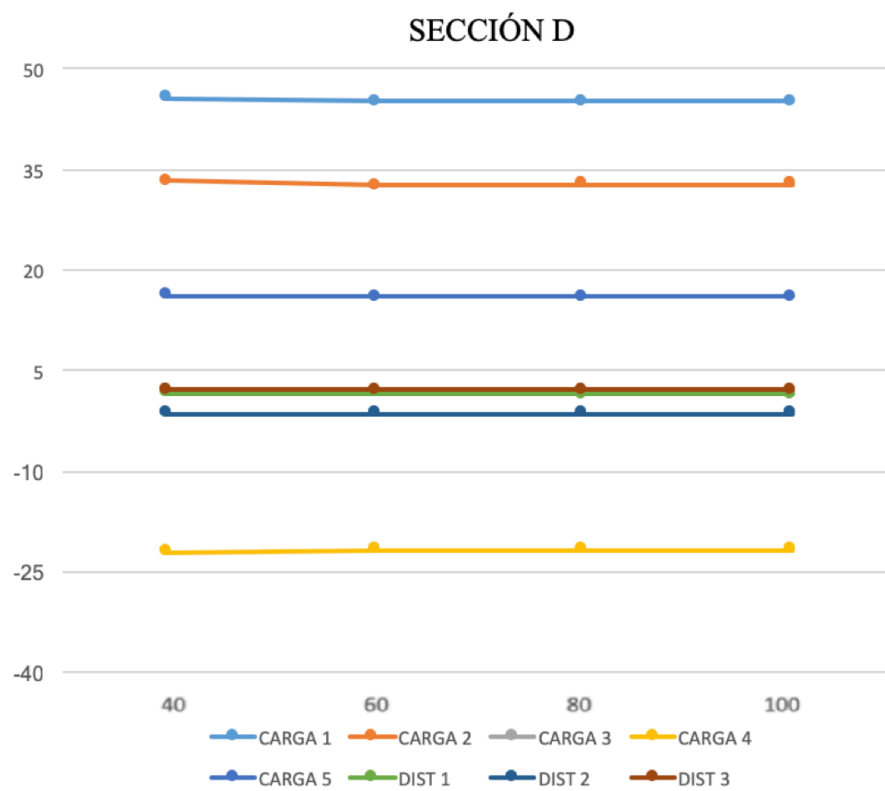


Figura 4.109 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección D modelos rectos

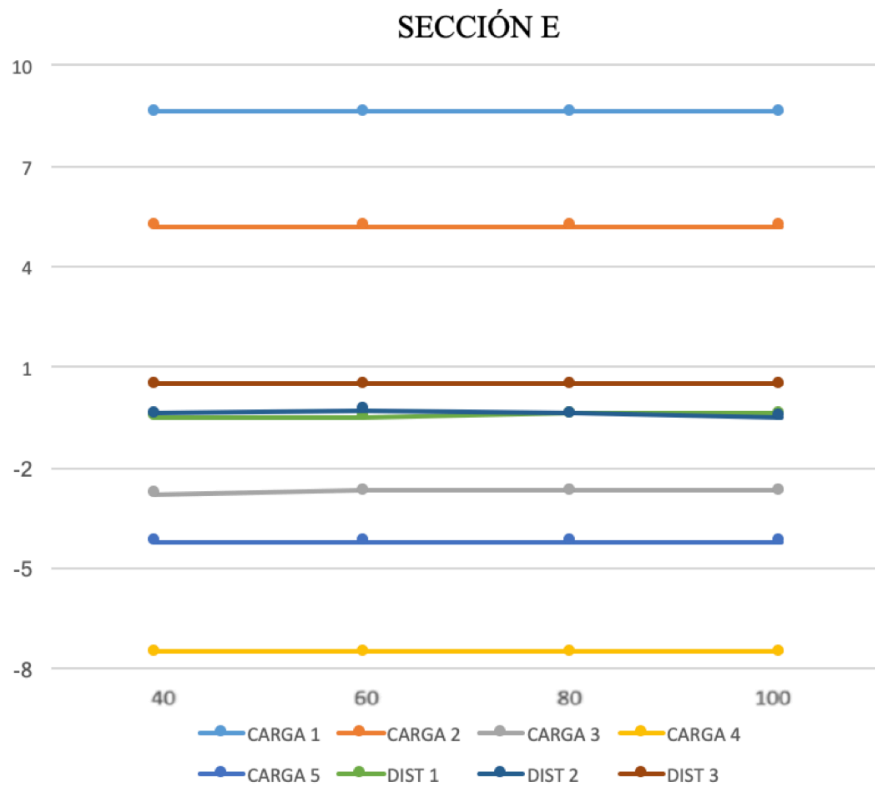


Figura 4.110 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos rectos

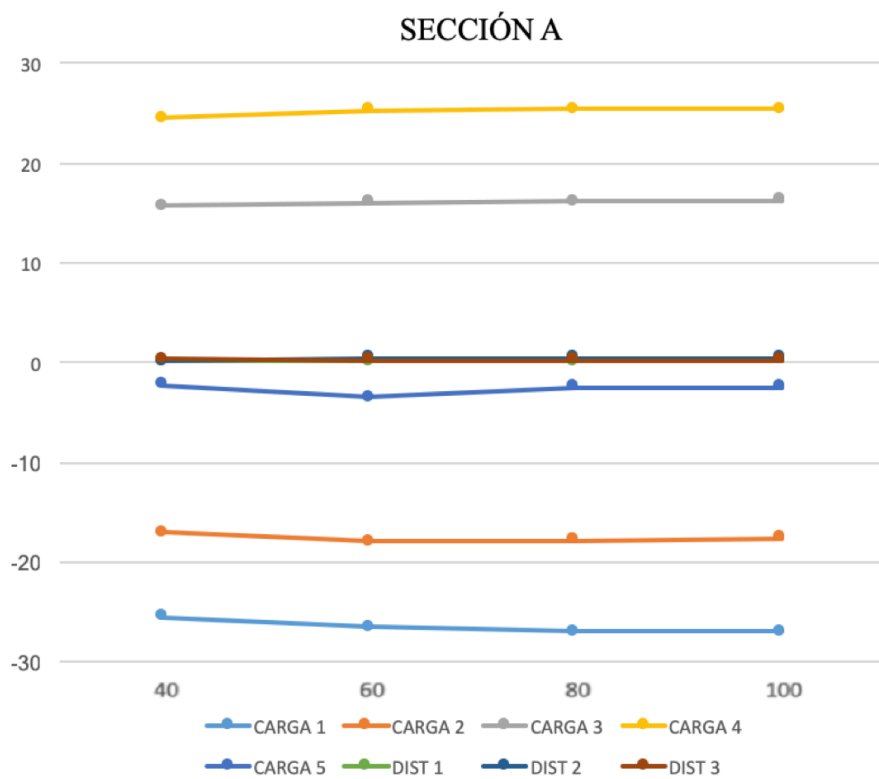


Figura 4.111 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección A modelos inclinados

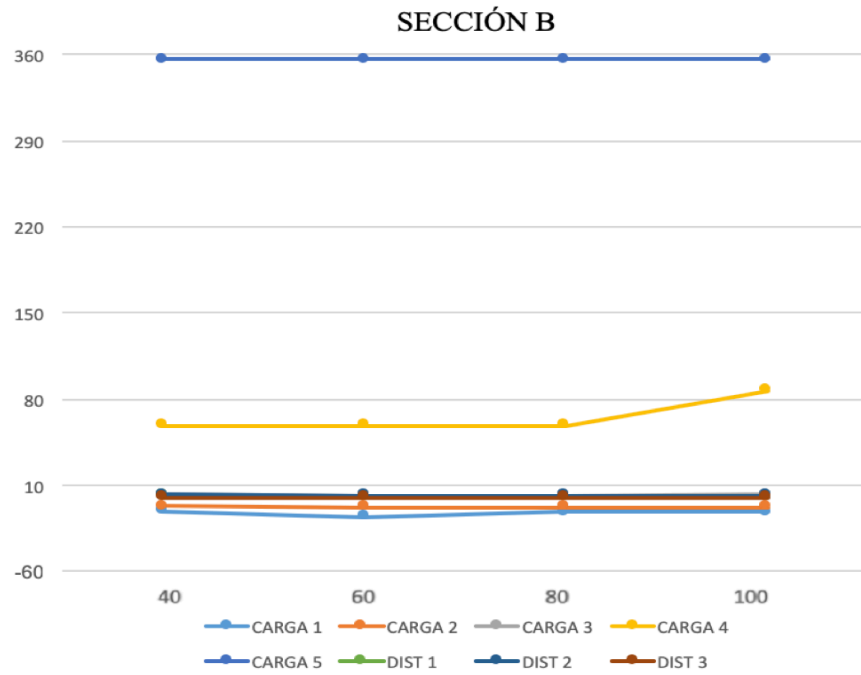


Figura 4.112 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección B modelos inclinados

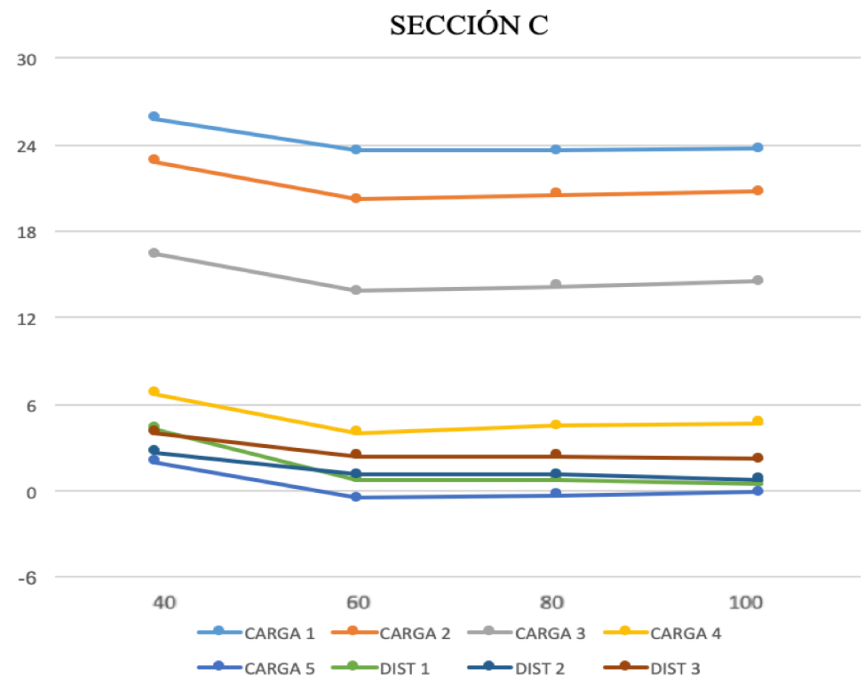


Figura 4.113 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección C modelos inclinados

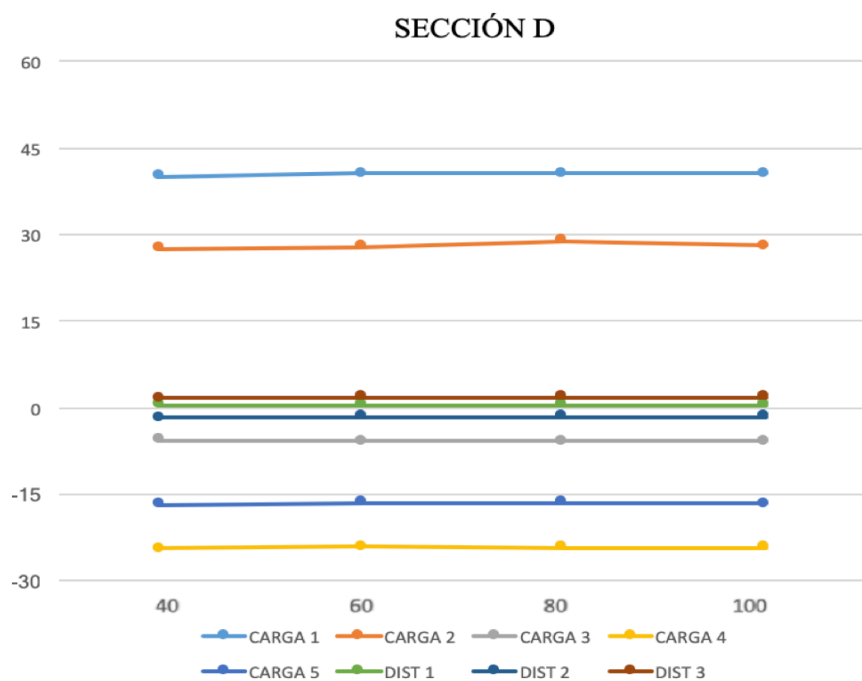


Figura 4.114 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección D modelos inclinados

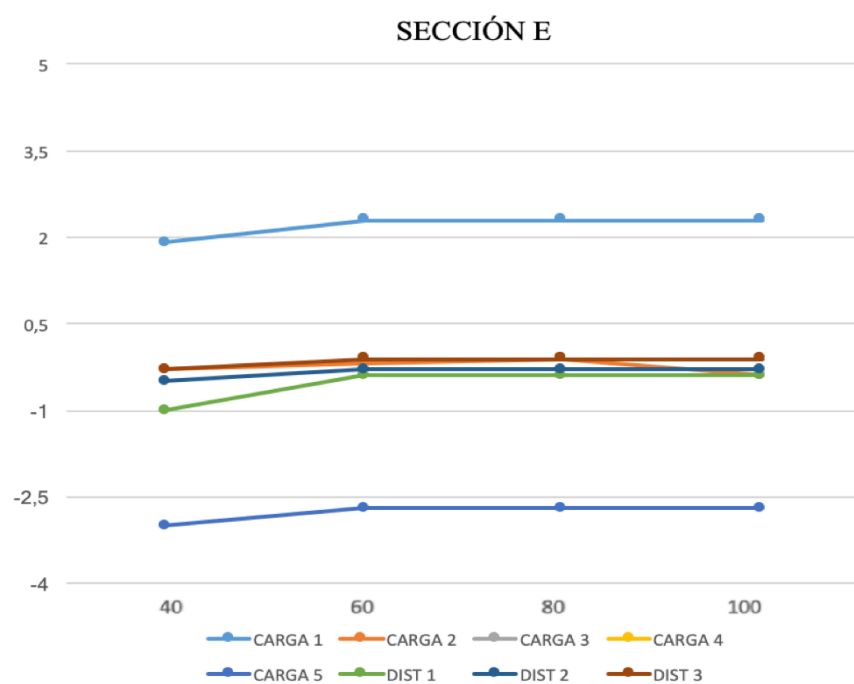


Figura 4.115 - Distribución de M_y (kN.m/m) en la sección E modelos inclinados

Existe escasa influencia de la longitud de vano en M_y salvo mínimamente en la sección C con alma inclinada.

Axiles transversales (Ny)

Se analizan los esfuerzos axiles transversales para todas las cargas y modelos, así se podrá corroborar la influencia de la inclinación de las almas y la longitud del puente en dichos esfuerzos.

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-527	-510	-555.2	-498	-419	-210	-200	-199.8
Modelo 2	-345	-363.3	-388.1	-335.8	-255.7	-104.6	-93.7	-91.5
Modelo 3	-360	-378.2	-402.9	-350.7	-271	-104.5	-93.4	-9
Modelo 4	-375.4	-393.3	-418	-365.7	-286	-90.2	-78.8	-76.3

Tabla 4.47 - Distribución de Ny (kN/m) en sección A en modelos rectos

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-374.3	-377.5	-369	-363.8	-362.8	-193.7	-194.3	-193.4
Modelo 2	-210.6	-2086	-204.3	-199.6	-195.7	-86.5	-87.5	-85.6
Modelo 3	-226.4	-224	-218.8	-214.7	-214	-83.7	-87.1	-84.5
Modelo 4	-241	-239.2	-234.6	-229.7	-229	-71.4	-72.5	-70

Tabla 4.48 - Distribución de Ny (kN/m) en sección B en modelos rectos

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	955.3	904	1032.4	940.3	727.2	377.2	348.2	349
Modelo 2	614.3	669.6	750	658.6	440.7	195	161.7	160
Modelo 3	641	696	776	684	467	196	161	159
Modelo 4	667.7	722.5	802.3	711	493.3	171.6	135.6	133.1

Tabla 4.49 - Distribución de Ny (kN/m) en sección C en modelos rectos

SECCIÓN A

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-470.2	-493	-552	-478	-415.5	-202.5	-199	-197.4
Modelo 2	-279.3	-293.7	-318.5	-314.5	-251.6	-85.6	-92	-90
Modelo 3	-319.4	-343.6	-403.4	-329.8	-267	-85	-91.6	-89
Modelo 4	-334.6	-358.7	-418.4	-344.8	-282	-70.5	-77.2	-74

Tabla 4.50 - Distribución de Ny (kN/m) en sección A en modelos inclinados

SECCIÓN B

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-381.5	-380	-377.2	-370	-366.2	-192	-192.6	-191.2
Modelo 2	-205.4	-204	-201.3	-205	-202.4	-84.7	-86	-83.2
Modelo 3	-230.4	-230	-228	-220	-217.7	-84.3	-85.6	-82.8
Modelo 4	-245.7	-241.8	-240.6	-234.3	-232.7	-69.7	-71	-68.1

Tabla 4.51 - Distribución de Ny (kN/m) en sección B en modelos inclinados

SECCIÓN C

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	1071.6	1160	1288	1230.5	1028.6	513	509	510
Modelo 2	637.4	730.7	862.3	806.5	603.8	226	232.8	230.8
Modelo 3	678.2	771	902.3	846.3	643.6	224	232	229.7
Modelo 4	717.8	810.3	941.3	885.3	682.5	186	194.3	191.6

Tabla 4.52 - Distribución de N_y (kN/m) en sección C en modelos inclinados

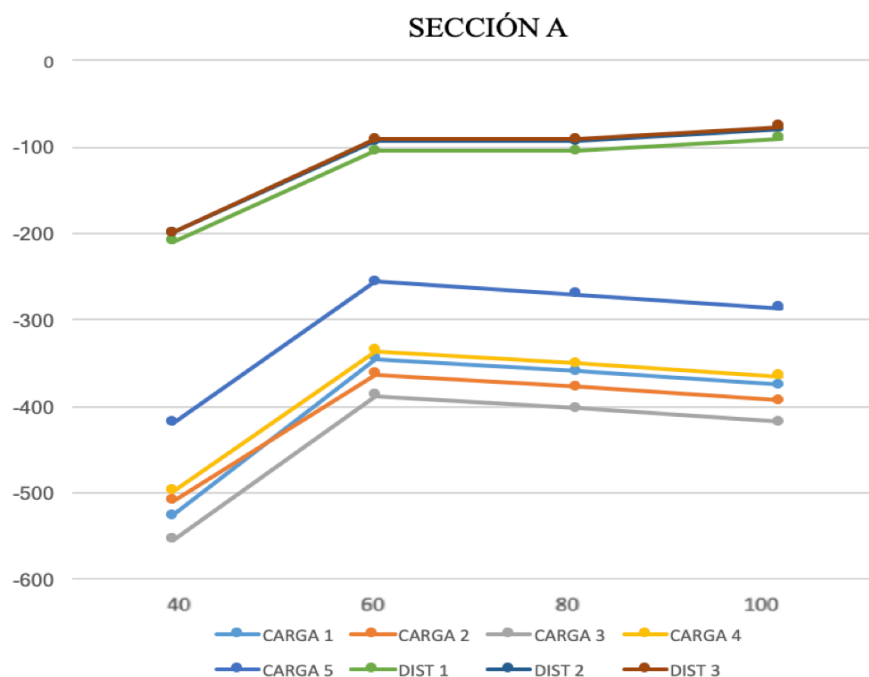


Figura 4.116 - Distribución de N_y (kN/m) en sección A en modelos rectos

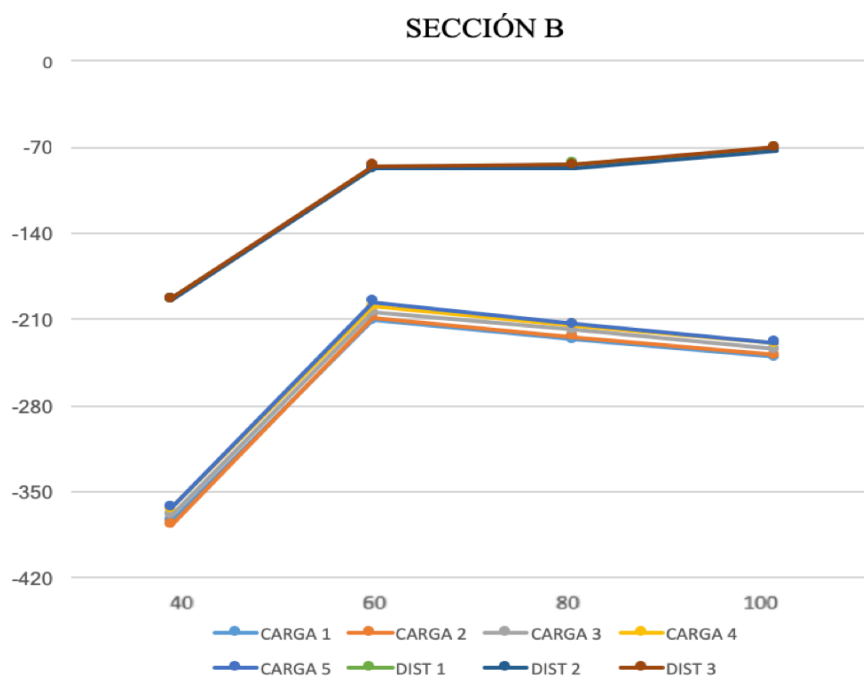


Figura 4.117 - Distribución de N_y (kN/m) en sección B en modelos rectos

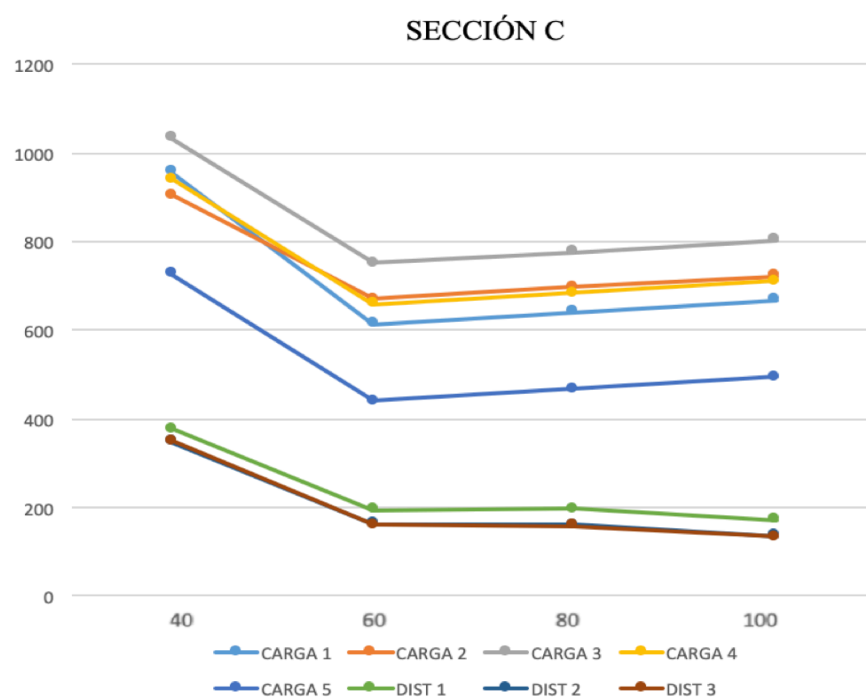


Figura 4.118 - Distribución de N_y (kN/m) en sección C en modelos rectos

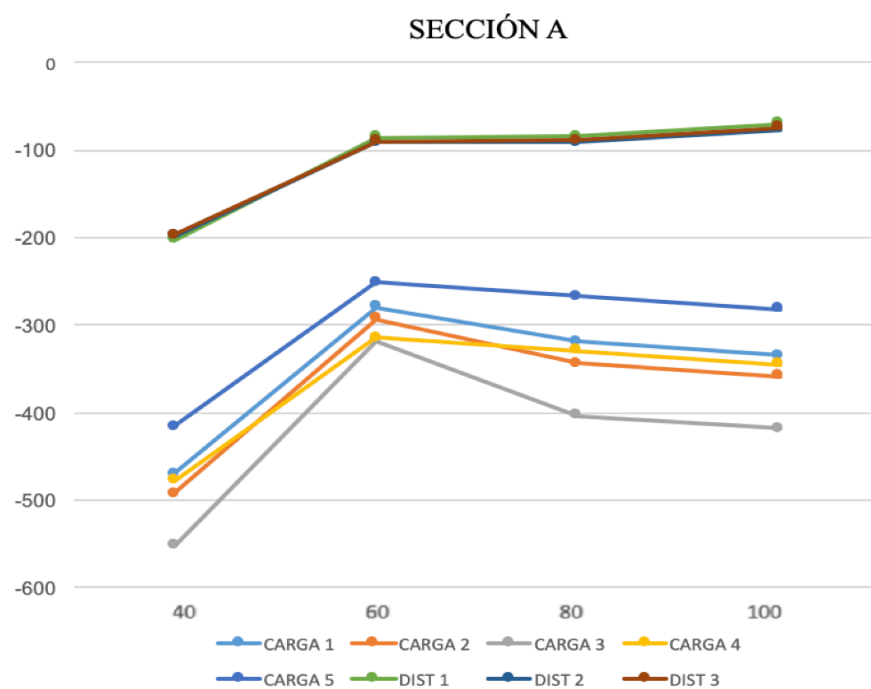


Figura 4.119 - Distribución de N_y (kN/m) en sección A en modelos inclinados

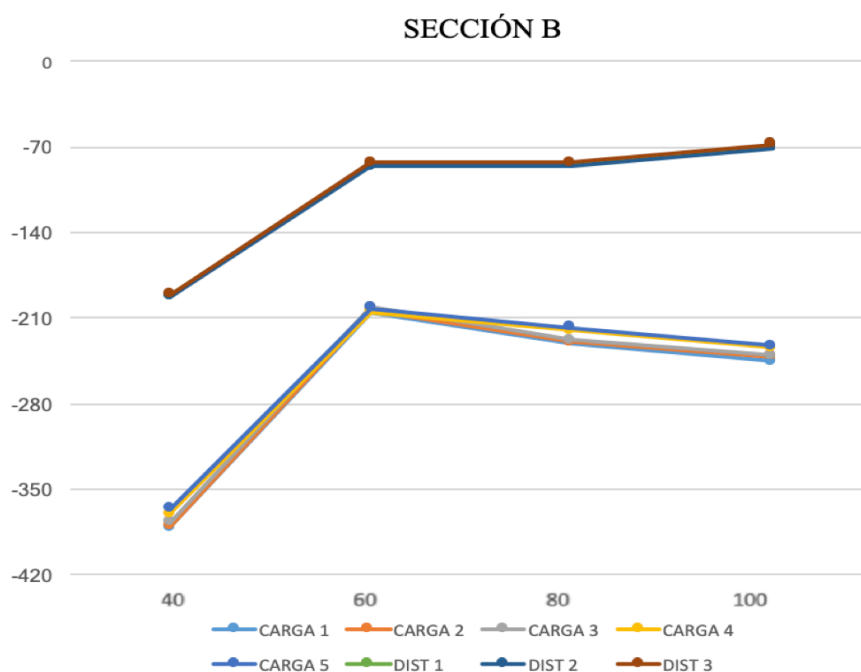


Figura 4.120 - Distribución de N_y (kN/m) en sección B en modelos inclinados

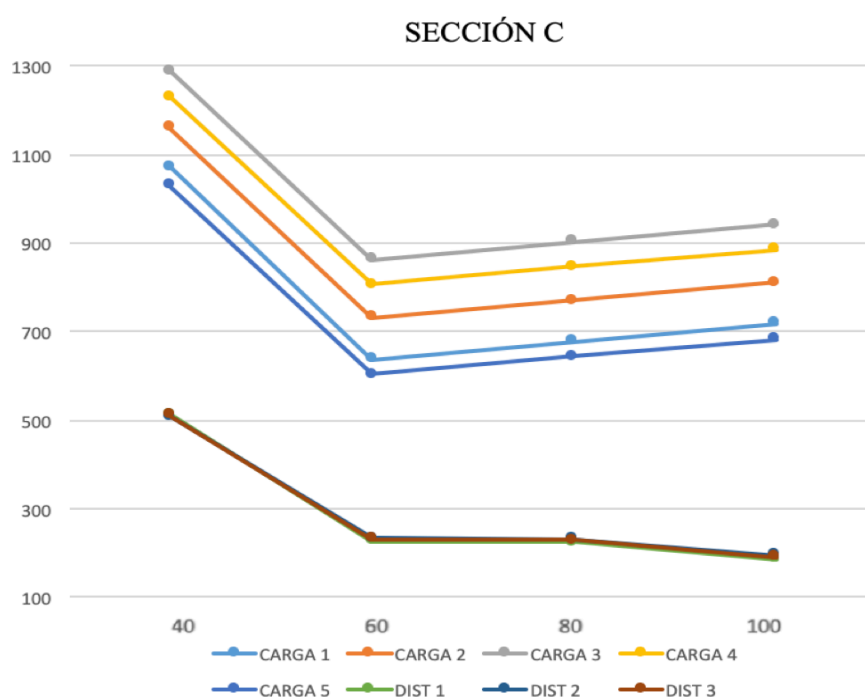


Figura 4.121 - Distribución de N_y (kN/m) en sección C en modelos inclinados

Las cargas puntuales provocan un incremento de axiles mayor que el provocado por las cargas distribuidas.

Cuanto mayor es la excentricidad de la carga aparecen esfuerzos axiles mayores.

En los esfuerzos de la losa superior influye la inclinación del alma, mientras que en la losa inferior la inclinación es indiferente.

La influencia de la longitud del puente es determinante, también en los esfuerzos axiles, siendo el modelo de 60m el óptimo para los esfuerzos axiles, ya que representa los valores más bajos en las diferentes zonas estudiadas y con ambas secciones.

El axil es máximo cuando no hay vano.

Cortantes (Nxy)

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-73.95	-103.55	-324.55	-92	-39.35	-189.2	-121.3	-121.3
Modelo 2	-110.4	-152.1	-328.4	-135.8	-58.6	-29.4	-40	-41.1
Modelo 3	-140.75	-183.65	-296.85	-161.3	-74.3	-63.2	-24.9	-24.5
Modelo 4	-171.2	-214.5	-265.4	-186.8	-90	-117.7	-64.4	-64

Tabla 4.53 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección D en modelos rectos

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-70	-91.4	-162.5	-79.5	-36.7	-183.4	-117.4	-117.5
Modelo 2	-104.4	-135.6	-231.7	-117.9	-54.7	-28.1	-39.3	-40.3
Modelo 3	-133.75	-166.75	-251.3	-143.5	-69.7	-59.8	-23.8	-23.5
Modelo 4	-163.1	-198	-270.8	-169	-84.6	-113.1	-62.1	-61.9

Tabla 4.54 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección E en modelos rectos

SECCIÓN D

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-72.4	-102.2	-301.3	-88.1	-38.1	-193.7	-121.1	-121.3
Modelo 2	-107.5	-149.3	-322.3	-128.7	-56.5	-25.3	-40.7	-40.9
Modelo 3	-137	-179.4	-293	-153.8	-71.8	-58.3	-24.3	-24.1
Modelo 4	-166.6	-209.4	-263.6	-178.8	-87	-117.3	-63.9	-63.8

Tabla 4.55 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección D en modelos inclinados

SECCIÓN E

	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5	C. Dist 1	C. Dist 2	C. Dist 3
Modelo 1	-69.1	-88.9	-146.7	-75.8	-36	-189.1	-117.3	-117.6
Modelo 2	-102.8	-131	-211.9	-111.5	-53.4	-23.8	-39.6	-36.5
Modelo 3	-131.9	-161.9	-237.7	-136.9	-68.2	-59.2	-23.6	-23.5
Modelo 4	-160.9	-192.8	-263.5	-162.2	-83	-114.9	-61.9	-61.9

Tabla 4.56 - Distribución de Nxy (kN/m) en la sección E en modelos inclinados

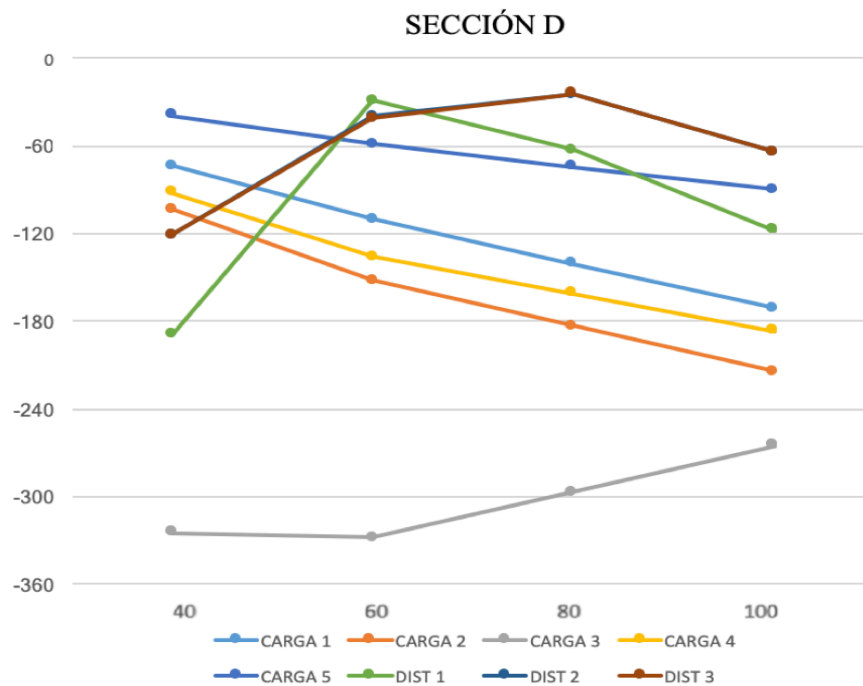


Figura 4.122 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección D en modelos rectos

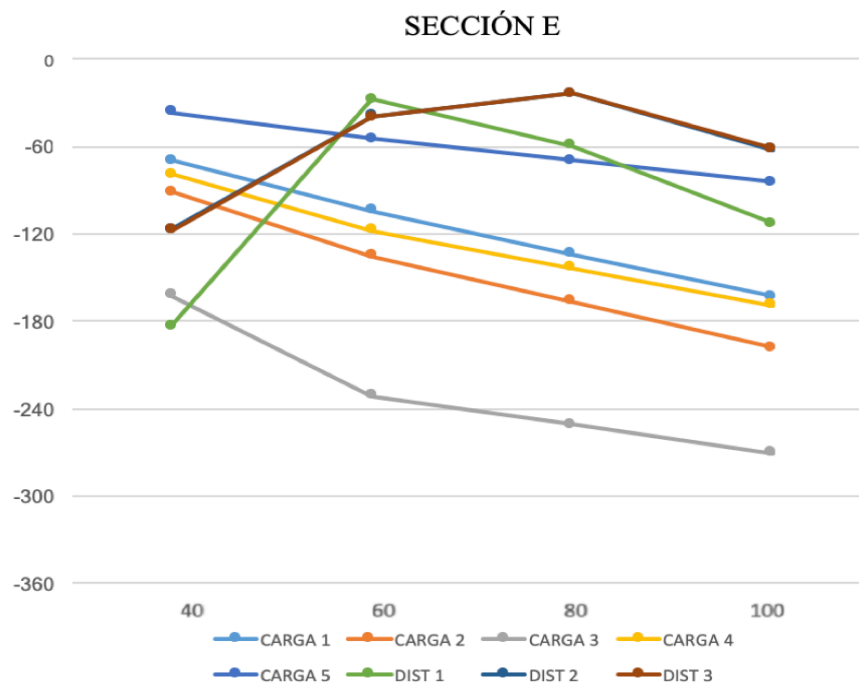


Figura 4.123 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección E en modelos rectos

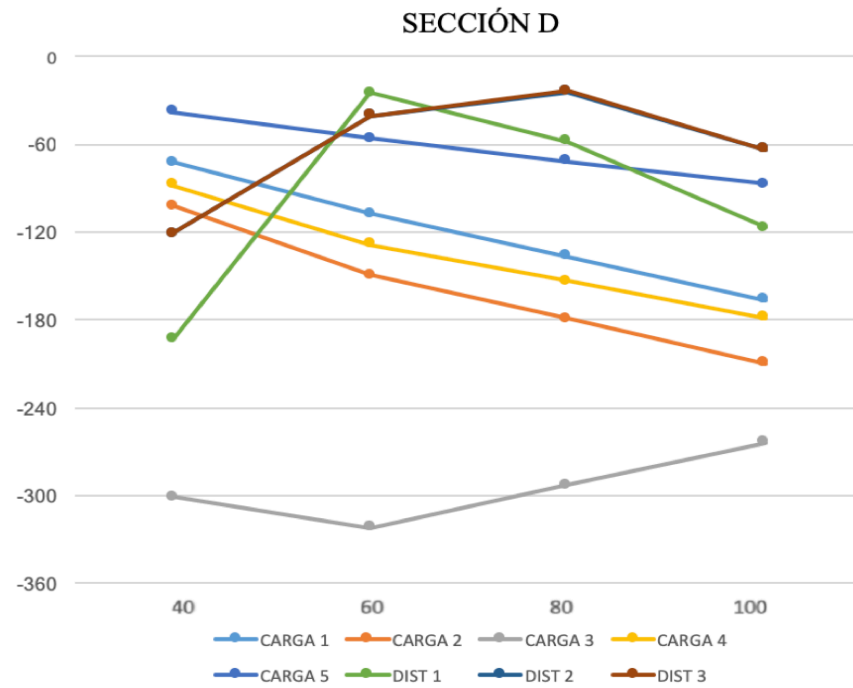


Figura 4.124 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección D en modelos inclinados

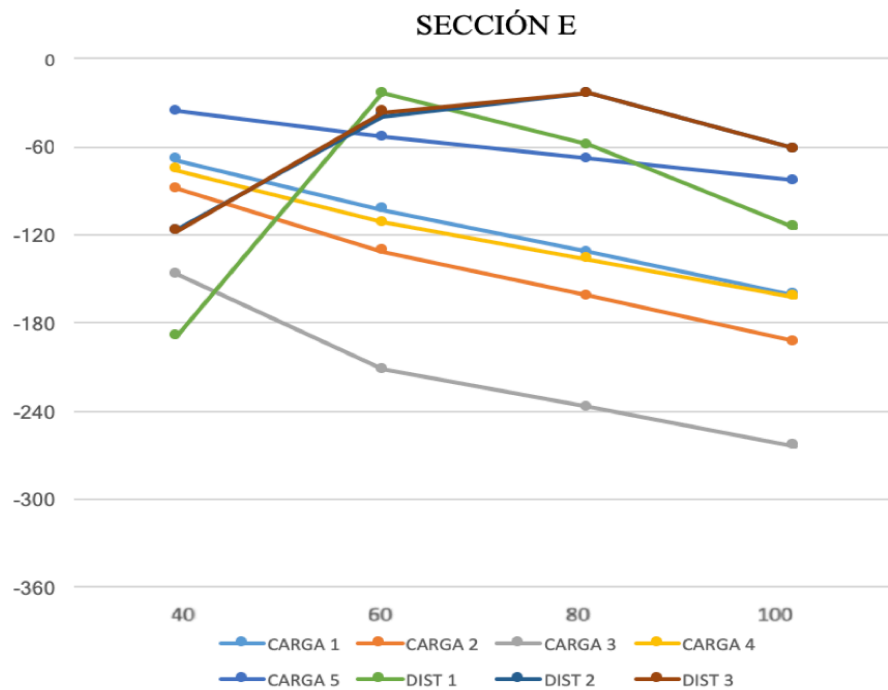


Figura 4.125 - Distribución de N_{xy} (kN/m) en la sección E en modelos inclinados

El N_{xy} disminuye con la longitud de vano para las cargas puntuales, sin embargo con las cargas distribuidas es máximo con vano corto y disminuye si aumenta la longitud del vano o este desaparece.

5 CONCLUSIONES

- Desplazamientos

Las mayores flechas se producen en los modelos sin vanos laterales y son menores cuando los vanos laterales son más cortos, ya que cuanto mayor sea la longitud menor es la rigidez. Sin embargo, con las cargas distribuidas la aplicación de cargas en vanos laterales provoca que se levante el vano central y, en consecuencia, disminuya la flecha.

No podemos atribuir la variación de desplazamientos verticales a la inclinación de las almas, ya que proporcionan un resultado similar, siendo la longitud del vano un factor determinante.

- Distorsión

La distorsión, además de otros factores, depende de la excentricidad de la carga. A mayor excentricidad las secciones que tienen mejor comportamiento respecto a la distorsión son aquellas con almas rectas.

En tableros con almas rectas la ausencia de vanos laterales provoca mayor distorsión. La presencia de vanos laterales disminuye la distorsión, pero su efecto se pierde cuando la longitud del vano lateral aumenta. Con almas inclinadas ocurre lo mismo, solo que el aumento de la luz del vano lateral tiene menos influencia.

- Tensiones longitudinales

La inclinación de las almas da lugar a valores más bajos de tensiones longitudinales. La mayor longitud del alma inclinada mejora la distribución de las tensiones que provoca la carga puntual.

La variación de longitud es también influyente. Los modelos que presentan apoyos en las zonas intermedias del puente presentan valores más suaves.

Las tensiones longitudinales mayores se producen en los modelos de 40 metros, y los menores valores de tensión en el modelo de 60 metros, esto se debe, a que la rigidez aumenta cuando la longitud de vano lateral disminuye.

- Tensiones tangenciales

El modelo que presenta una tensión tangencial menor es el modelo de 40 m con almas inclinadas. Los modelos con almas rectas y apoyos intermedios presentan tensiones tangenciales máximas idénticas, de igual forma, los modelos con almas inclinadas con apoyos intermedios presentan tensiones tangenciales máximas idénticas. Lo que nos lleva a afirmar que se trata de un efecto local que no depende de la longitud del vano lateral.

- Momentos flectores

En general, son menores los que presentan almas inclinadas.

La losa inferior, debido a que presenta un menor tamaño en modelos con almas inclinadas presenta unos esfuerzos por unidad de longitud mayor.

La variación de longitud es despreciable ya que los diferentes modelos presentan valores y distribuciones similares.

- Axiles transversales

En los esfuerzos de la losa superior influye la inclinación del alma, mientras que en la losa inferior la inclinación es indiferente. El axil es máximo cuando no hay vano lateral.

- Cortante

El cortante disminuye con la longitud de vano para las cargas puntuales, sin embargo, con las cargas distribuidas es máximo con vano corto y disminuye si aumenta la longitud de vano lateral o este desaparece.

REFERENCIAS

- [1] Puentes. Apuntes para su diseño, cálculo y construcción – Javier Manterola. 2006
- [2] Trabajo de Fin de Grado Análisis de sensibilidad a la inclinación de las almas en las secciones tipo cajón en puentes' - Sergio Cobo Pérez

